

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Statické posouzení nosné konstrukce základní umělecké školy

Structural assessment of the support structure of elementary art schools

Student:

Bc. Martina Drábková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martina Janulíková, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martina Drábková**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: Statické posouzení nosné konstrukce základní umělecké školy  
Structural assessment of the support structure of elementary art schools

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci této práce bude zpracován statický výpočet vybraných částí nosné konstrukce základní umělecké školy. V práci budou zpracovány vybrané výkresy tvaru a vybrané výkresy výztuže včetně detailů.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI,2006.

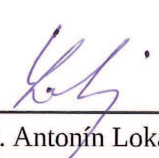
ČSN EN 1996-1-1: Navrhování zděných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce. Praha: ČNI,2007.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

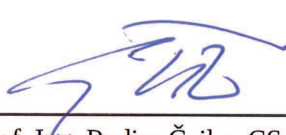
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martina Janulíková, Ph.D.**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016

  
doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne .....

.....

Bc. Martina Drábková

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne .....

.....

Bc. Martina Drábková



## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Martině Janulíkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady při zpracování této diplomové práce a za vstřícnost při konzultacích.

Mé poděkování patří též Jakubovi Millerovi za souhlas s řešením jeho architektonického návrhu a za poskytnutí všech souvisejících podkladů.

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá statickým řešením nosné konstrukce základní umělecké školy ze železobetonu. V textové části práce jsou uvedeny informace o území, kde je plánována výstavba budovy a dále informace o stavbě týkající se dispozičního a stavebně-konstrukčního řešení. Hlavní část diplomové práce je věnována statickému výpočtu sestávající ze stanovení zatížení, návrhu a následného posouzení vybraných železobetonových prvků nosné konstrukce. V příloze práce jsou přiloženy výkresy stavební (půdorysy, řez) a statické (výkresy výztuže, výkres tvaru) části.

## **Klíčová slova**

železobeton, základní umělecká škola, statický výpočet, zatížení, stropní deska, průvlak, sloup, základová deska

## **Anotation**

The thesis deals with static solution supporting structure elementary art school made of reinforced concrete. The text part includes information about the area where the building is to be located and also information about the construction on the layout and structural design solution. The main part of the thesis is devoted to the static calculation consisting of load specification, design and subsequent assessment of selected reinforced concrete elements. In the attachment are accompanied drawings of structural (ground plans, cross section) and static (reinforcement drawings, drawings of shape) parts.

## **Key words**

reinforced concrete, elementary art school, static calculation, load, ceiling slab, girder, column, raft foundation

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Specifikace stavby .....</b>	<b>3</b>
1.1. Údaje o území .....	3
1.2. Údaje o stavbě.....	6
1.2.1. Dispoziční řešení .....	7
1.2.2. Stavebně-konstrukční řešení.....	8
<b>3. Zatížení.....</b>	<b>15</b>
3.1. Stálé zatížení .....	15
3.2. Užitné zatížení .....	19
3.3. Klimatické zatížení .....	19
3.4. Mimořádné zatížení .....	25
<b>4. 3D Model .....</b>	<b>27</b>
<b>5. Statický výpočet.....</b>	<b>29</b>
5.1 Desky působící ve dvou směrech.....	29
5.1.1. Deska nad 1. NP .....	29
5.1.2. Deska nad 2. NP .....	47
5.1.3. Deska ploché střechy .....	62
5.2. Průvlaky .....	74
5.2.1. Vnější průvlaky P1 až P4.....	74
5.2.2. Vnější průvlaky P5 až P9.....	84
5.2.3. Vnitřní průvlaky P10 .....	91
5.2.4. Vnitřní průvlaky P11 a P12 .....	99

5.2.5. Průvlaky dvorany P13 a P14 .....	107
5.2.6. Průvlaky prosklené střechy P15 .....	119
5.3. Sloupy .....	127
5.3.1. Vnější sloupy S1, S2 a S3.....	127
5.3.2. Vnitřní sloupy S4, S5 a S6.....	143
5.3.3. Vnitřní sloupy S7 a S8.....	155
5.4. Základová deska.....	165
<b>6. Závěr.....</b>	<b>175</b>
<b>Seznam literatury .....</b>	<b>I</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>II</b>



## 1. Úvod

S rozvojem technologií, materiálů a výpočetních metod roste i možnost odpoutat se od konvenčních návrhů konstrukcí. Právě železobeton je jedním z materiálů, které vynikají obrovskou variabilitou geometrie a schopností rozmanité povrchové úpravy. Prostřednictvím těchto vlastností poskytují možnost vytvořit architektonicky jedinečné dílo.

Z výše uvedených důvodů je tématem diplomové práce statické posouzení železobetonové monolitické konstrukce, při kterém si autor alespoň částečně osvojí dovednost navrhování nejčastěji používaných konstrukčních železobetonových prvků.

Hlavním cílem této diplomové práce je statické posouzení hlavních nosných prvků konstrukce základní umělecké školy. Tato práce navazuje na architektonický návrh zpracovaný studentem katedry architektury Jakubem Millerem v rámci semestrálního projektu Ateliér architektury II. Konceptem projektu je zvýšení kapacity učebních prostor stávající budovy Základní umělecké školy ve Fulneku. V nové budově školy nově přibývá také koncertní sál určený pro pořádání školních, ale i mimoškolních akcí.

Diplomová práce je rozdělena na část textovou a část výpočtovou. Textová část obsahuje bližší seznámení se stavebním objektem a pozemkem, jeho širšími vztahy a mj. také s topografií terénu. V jednotlivých kapitolách je stavba řešena rovněž z hlediska dispozičního a stavebně-konstrukčního.

Stěžejní částí této diplomové práce jsou především kapitoly věnované samotnému statickému výpočtu. Popisují celý výpočetní proces od způsobu stanovení zatížení, přes návrh a následný posudek vybraných prvků nosných konstrukcí z hlediska mezních stavů.

Třetí kapitola popisuje a stanovuje jednotlivá zatížení, které se mohou po dobu životnosti konstrukce vyskytnout a mohly by mít zásadní vliv na výsledné hodnoty maximálních vnitřních sil. Veškerá zatížení a součinitelé bezpečnosti jsou určeny dle platných norem. Další kapitola se zabývá postupem vytvoření matematického modelu ve výpočetním programu SCIA Engineer 15.3.

Zásadní a poslední kapitolou této diplomové práce je samotný návrh a posudek vybraných prvků nosné železobetonové konstrukce dle mezního stavu únosnosti. U rozhodujících částí

konstrukce je také ověřeno, zda je potřeba posouzení mezního stavu použitelnosti. Každá podkapitola je rozdělena vždy na chronologicky navazující oddíly od uvedení vnitřních sil pro nejnepříznivější kombinaci zatěžovacích stavů, přes výčet parametrů prvku a materiálů k návrhu a posudku. Každý oddíl je vždy zakončen schématem vyztužení nebo zástupně shrnující tabulkou použité výztuže.

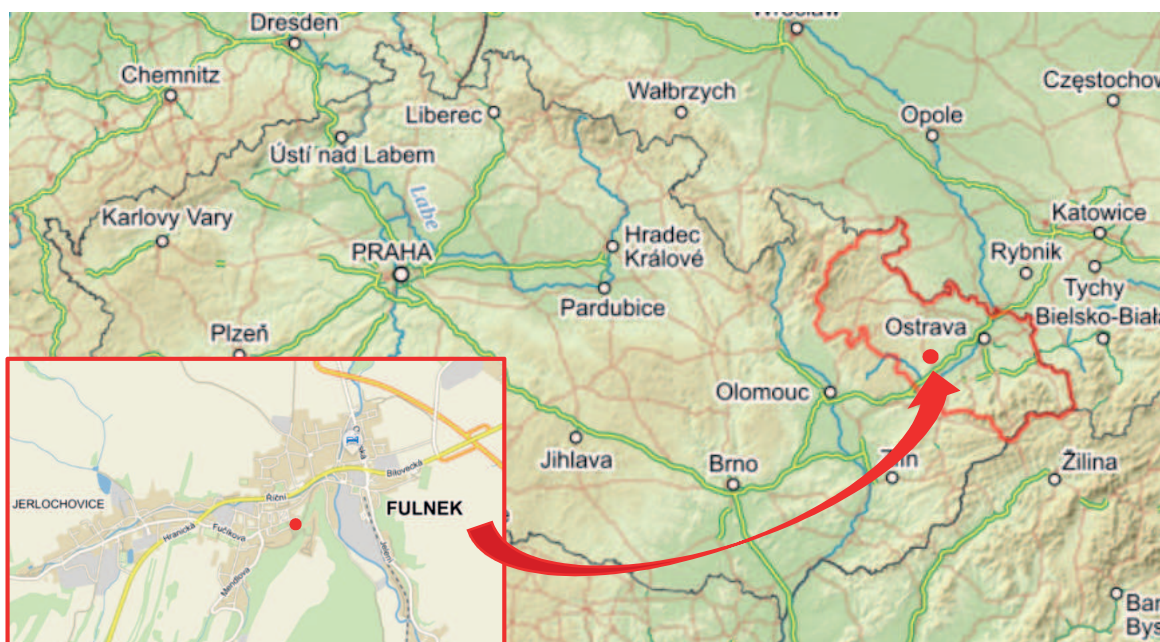
## 2. Specifikace stavby

Diplomová práce řeší statické posouzení novostavby Základní umělecké školy ve Fulneku na parcele č. 94/1, k. ú. Fulnek na základě architektonického návrhu. Objekt navazuje na původní prostory Základní umělecké školy a rozšiřuje tak její stávající zázemí.

### 1.1. Údaje o území

Město Fulnek se leží v jižní části Moravskoslezského kraje (cca 38 km jihozápadně od Ostravy) v okrese Nový Jičín (viz. *Obr. 2.1*). Ve Fulneku žije necelých 6 tis. obyvatel na rozloze 10 tis. ha (i s přilehlými obcemi), nadmořská výška 284 m n. m.

Pozemek je situován v zastavěném území v centru města Fulnek na nám. Komenského na parcele č. 94/1, k. ú. Fulnek (viz. *Obr. 2.2*), v současné době veden jako ostatní plocha. Území bylo dříve zastavěno domy, které byly během 2. světové války zničeny. Nyní se zde nachází pouze zatravněná plocha čekající na další využití.



*Obr. 2.1: Širší vztahy města Fulnek [zdroj: mapy.cz]*

Na sousední východní parcele se nachází Knurův dům nyní využívaný jako informační centrum a kavárna, ostatní parcely jsou zatravněny. K západní části pozemku přiléhá původní



schodiště z 19. stol. spojující nám. Komenského a ul. Kostelní (viz. *Obr. 2.4*) Na schodiště navazuje původní opěrná zeď zajišťující převýšení cca 10 m. Nad svahek se nachází budova současné ZUŠ, na kterou bude novostavba navazovat.



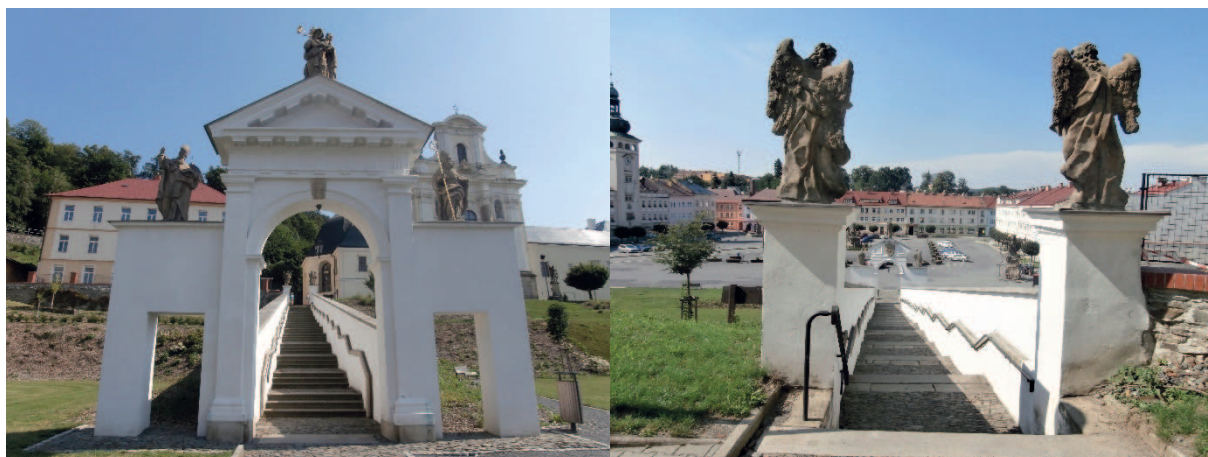
*Obr. 2.2: Sousední pozemky zájmové parcely [zdroj: mapy.cz]*

V jižní polovině pozemku se nachází svah výšky cca 6 m přiléhající k opěrné zdi, zbytek parcely je rovinného charakteru. Nadmořská výška stavebního pozemku se pohybuje v rozmezí 284,9 – 290,9 m, původní školní budova se nachází v nadmořské výšce 294,1 m (viz. *Obr. 2.3*)



*Obr. 2.3: Fotodokumentace parcely a ul. Kostelní [zdroj: autorka práce]*





*Obr. 2.4: Původní schodiště [zdroj: autorka práce]*

## 1.2. Údaje o stavbě

Objekt bude sloužit pro výuku žáků základní školy s uměleckým zaměřením v oblasti hudby, tance a výtvarnictví. Mimo to bude v budově koncertní sál s kapacitou 198 míst, který v případě zájmu může sloužit pro veřejné akce. Na *Obr. 2.5* je zobrazena vizualizace stavby.

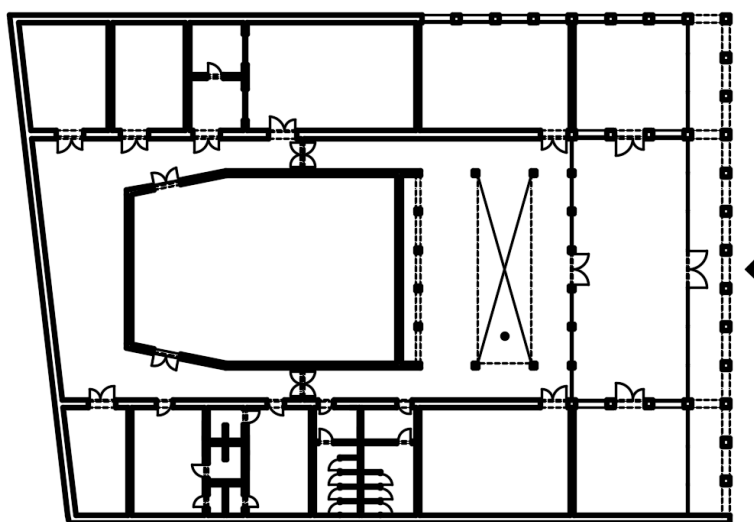


*Obr. 2.5: Vizualizace [zdroj: Jakub Miller, Poster Základní umělecká škola Fulnek]*

### 1.2.1. Dispoziční řešení

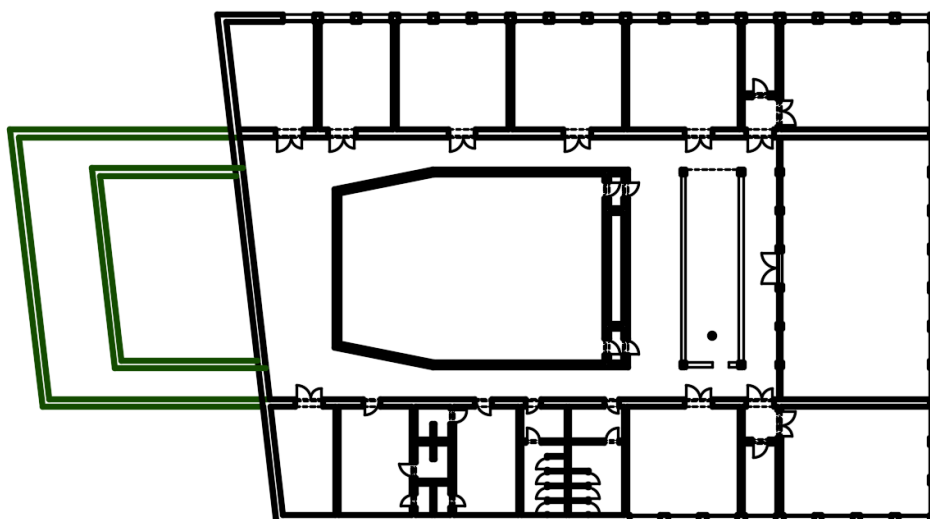
Budova ZUŠ je řešena jako třípodlažní s hlavním vstupem v severní části 1. NP z náměstí Komenského. Další vstup do objektu je umožněn ve 3. NP v jižní části z ulice Kostelní přes dvůr. Poslední vstup do budovy slouží pro přímé spojení mezi stávající a novu budovou ZUŠ a to ve 2. NP přes schodiště.

V 1. NP se nachází zádveří odkud je veřejnosti přístupná kavárna a školní galerie. Další prostory slouží za běžného provozu výhradně školním účelům a to: nahrávací sál, sklady, koncertní sál se zákulisím, učebny hudební nauky a sociální zázemí v podobě WC a šaten. V 1. NP se také nachází dvorana s točitým schodištěm a výtahem umožňující přístup do vyšších pater. Druhé dvouramenné schodiště situované v severo-východní části budovy bude sloužit mimo jiné jako úniková cesta při požáru (viz. Obr. 2.6).



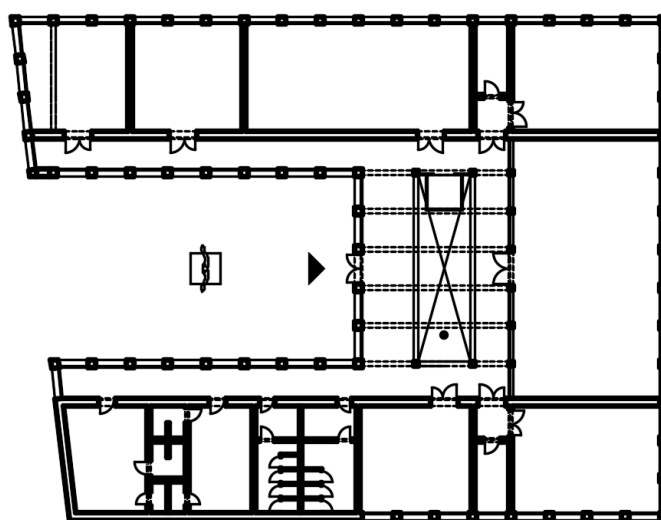
Obr. 2.6: Dispozice 1. NP

V 2. NP se nachází chodba, z níž je umožněn přístup do učeben pro výuku hraní na hudební nástroje, kanceláře, taneční sál a sociální zařízení. Z tohoto patra je také umožněn přístup do staré budovy prostřednictvím spojovací chodby s přímým schodištěm (viz. Obr. 2.7).



*Obr. 2.7: Dispozice 2. NP*

Ve 3. NP jsou umístěny kanceláře, sborovna, učebny zpěvu a dramatiky, ladírna hudebních nástrojů, místnost pro volnočasové aktivity studentů, sociální zařízení a chodba, odkud je umožněn vstup na dvůr s lavičkami a sochou. Toto podlaží je ve stejné výškové úrovni jako 1. NP stávající budovy ZUŠ a umožňuje tak účelné propojení mezi budovami (viz. *Obr. 2.8*).



*Obr. 2.8: Dispozice 3. NP*

### **1.2.2. Stavebně-konstrukční řešení**

Objekt ZUŠ je samostatně stojící novostavba s kombinovaným konstrukčním systémem rozděleným na 3 podélné trakty. Nosná konstrukce je ze železobetonu s nenosnými příčkami

z cihlového zdiva Porotherm. Základní půdorysný tvar objektu je obdélníkový se zkosenou jižní hranou, podoba půdorysu se liší podle podlaží. 1. NP má podobu základního půdorysného tvaru, v 2. NP je střední trakt prodloužen o spojovací chodbu a ve 3. NP je tvaru U, kdy střední trakt je naopak zkrácen o prostor dvora. Půdorysné rozměry se v každém podlaží taktéž liší:

1. NP: 46,55/42,95 x 32,5 m

2. NP: 46,55 (+13,45)/42,95 (+14,35) x 32,5 m

3. NP: 42,50 (-21,30)/39,20 (-19,95) x 32,5 m

Konstrukční výška jednotlivých podlaží je 5,0 m.

Objekt je zastřešen plochou střechou tvaru U s max. sklonem 5°. Nad dvoranou je za účelem prosvětlení prostoru zajištěno zastřešení skleněnými tabulemi skloněnými k ploché střeše. Hrana atiky je 15,3 m nad terénem.

Objekt je navržen jako bezbariérový s možností užívání osobami s omezenou schopností pohybu a orientace dle vyhlášky 398/2009 Sb.

#### Základová půda

V roce 1982 byl firmou Stavoprojekt Ostrava s. p. proveden inženýrsko geologický průzkum na parcele č. 94/1, k. ú. Fulnek (viz. *Tab. 1*). Dle IGP se v aktivním podzákladí budoucího objektu nachází převážně zeminy hlinitého charakteru se štěrkovitými mezivrstvami. V hloubce 4,6 m pod úrovní terénu se pak nachází únosné skalní podloží ze zvětralé břidlice.

#### Základová konstrukce

Objekt bude založený na ŽB základové desce tl. 800 mm z betonu C30/37-XC2 vyztužen pruty Ø16 mm a Ø20 mm z oceli B500B. Základová spára bude v nezámrzné hloubce min. 1,1 m pod úrovní terénu. Podkladní beton tl. 50 mm z betonu C16/20-XC2 bude položen na štěrkopískovém podsypu tl. 100 mm. HPV se nachází v hloubce 3,5 m pod úrovní terénu, proto se neočekává potřeba hydroizolace proti tlakové vodě. Podrobnější informace o vyztužení viz. kapitola 5.4.

Základová deska bude opatřena tepelnou izolací z EPS tl. 200 mm a cementovým potětem tl. 100 mm, na němž bude spočívat skladba podlahy.

Tab. 1: Geologický profil

hloubka [m]	profil	ČSN 73 1001		popis	
		označení	název		
0,0 – 0,5		F1	hlína štěrkovitá	---	kvartér
0,5 – 1,0		F3	hlína jílovitá	tuhá, vlhká, šedohnědá přítomnost: suť	
1,0 – 3,0		G5	štěrk jílovitý	suť ulehlá, vlhká, tmavě šedá přítomnost: hlína jílovitá, písčitá	
3,0 – 3,6		F4	jíl písčitý	tmavě šedý	
3,6 – 4,6		G2	štěrk špatně zrněný	vlhký, ulehlý, šedohnědý přítomnost: písek hrubozrnný, jílovitý	
4,6 – 6,0		R5	hornina velmi nízké pevnosti	břidlice silně navětralá, tmavě šedá	karbon
hladina podzemní vody v hloubce 3,5 m pod úrovní terénu					

### Svislé nosné konstrukce

Svislé nosné konstrukce budou tvořeny železobetonovými stěnami a sloupy. Podélné vnější i vnitřní stěny budou tl. 500 mm, stěny koncertního sálu a ztužujícího jádra budou tl. 300 mm. Nosné stěny nejsou předmětem tohoto statického výpočtu.

Veškeré vnější nosné sloupy a vnitřní sloupy v prostoru zádveří a dvorany budou jednotného průřezu 500 x 500 mm. Stejného průřezu bude i dvojice sloupů v 1. NP přiléhající k podélným nosným stěnám, rozdílné budou pouze svým vyztužením trojstřížnými třmínky. Ostatní vnitřní sloupy budou průřezu 300 x 300 mm. Všechny sloupy budou z betonu C30/37-XC1 s krytím 25 mm, výztuž z oceli B500B. Přesný popis vyztužení viz. kapitola 5.3 a výkres výztuže č. 10.

### Vodorovné nosné konstrukce

Vodorovnými nosnými konstrukcemi budou stropní desky a průvlaky. Desky 1. NP a 2. NP budou tloušťky 300 mm působící ve dvou směrech. V okolí každého sloupu budou umístěny

smykové lišty firmy JORDAHL a distance mezi dolní a horní výztuží bude zajištěna ocelovými distančními lištami UTH 20.

Nosnou konstrukci ploché střechy bude tvořit deska tl. 200 mm působící ve dvou směrech. Střecha bude nepochozí s výjimkou prací za účelem oprav. V okolí sloupů budou taktéž umístěny smykové lišty fy JORDAHL a distance mezi horní a dolní výztuží zajištěna UTH 11. Spád střechy bude zajištěn vyspádovanou TI. Bližší specifikace vyztužení stropních a střešních desek viz. kapitola 5.1 a výkres výztuže č. 6 a 7.

Průvlaky budou spojitě mimo průvlaků dvorany a prosklené střechy, které budou uloženy přes jedno pole. Vnější průvlaky a průvlaky dvorany budou kromě výztuže na ohyb a smyk vyztuženy i přídatnou výztuží proti kroucení. Výška průvlaků se pohybuje od 450 mm do 500 mm, třmínky budou vždy dvojstrážné a to i v případě kroucení. Podrobnější specifikace vyztužení jednotlivých průvlaků viz. kapitola 5.2 a výkres výztuže č. 9.

#### Schodiště a výtah

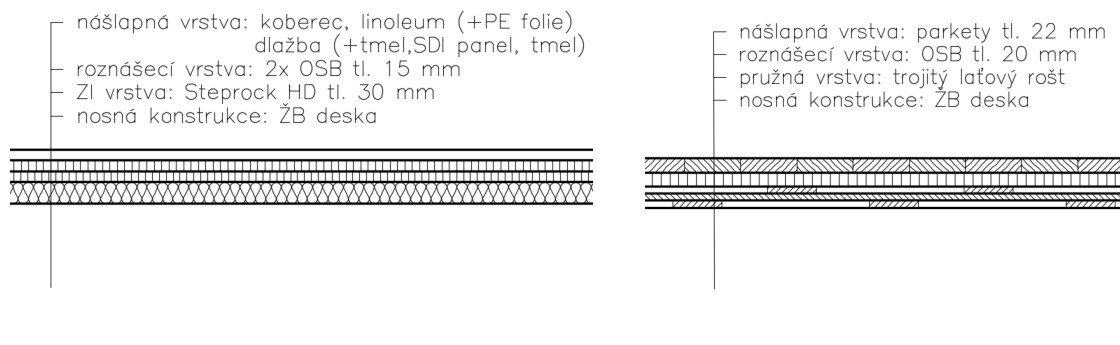
Schodiště SCH 1 bude vřetenové se stupni vetknutými do vřetenového sloupu průměru 250 mm. Sloup bude staticky působit jako konzola zajištěna v jednotlivých podlažích. Toto schodiště bude v modelu zohledněno pouze svislou silou v místě vřetenového sloupu. Schodiště SCH 2 bude dvouramenné pravotočivé schodiště s rameny z šikmých nosníků prostě uložených na podesty a mezipodesty. Desky podest a mezipodest budou uloženy na nosných stěnách ztužujícího jádra.

Výtah bude s přímým hydraulickým pohonem typ LC MINI 500 od firmy Lift Components s.r.o., kde píst bude umístěn přímo v prosklené šachtě i s agregátem. Ve výpočtovém modelu se toto projeví pouze zatížením na základovou konstrukci.

#### Skladby podlah

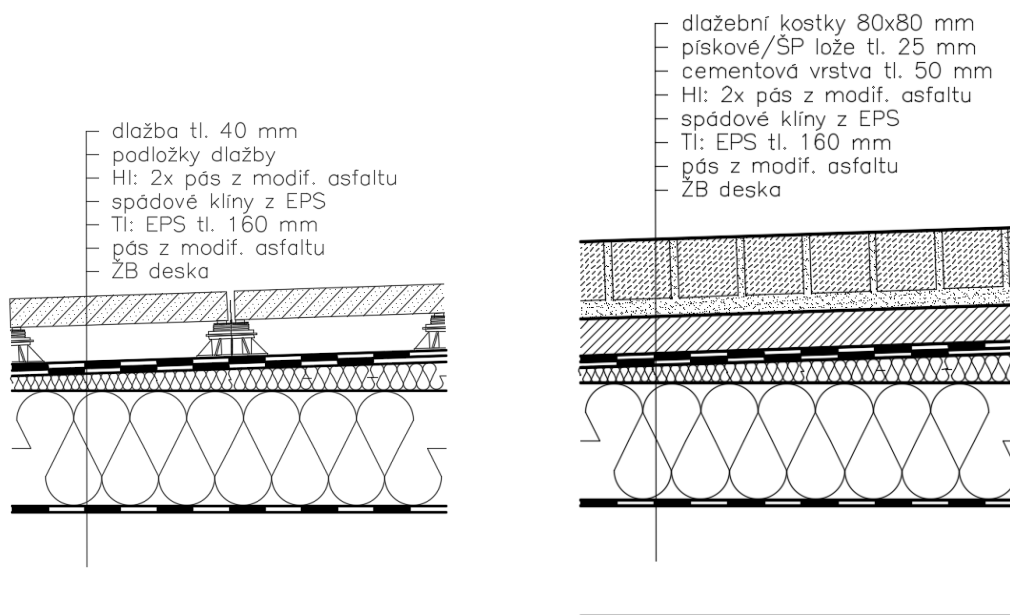
Všechny podlahy v interiéru budovy budou na principu lehké plovoucí podlahy. Lišit se budou pouze nášlapnou vrstvou: v kancelářích – koberec, chodby a soc. zařízení – dlažba, učebny a sklady – linoleum. Jedinou výjimkou bude taneční sál, kde bude hlavní funkční vrstvu tvořit trojitý laťový rošt pro tlumení vibrací přenášených do stropní konstrukce (viz. Obr. 2.9). Podlaha v 1. NP taktéž typu lehká plovoucí bude spočívat na vrstvě TI a cementového potěru.





Obr. 2.9: Skladba podlahy v interiéru (vlevo) a v tanečním sále (vpravo)

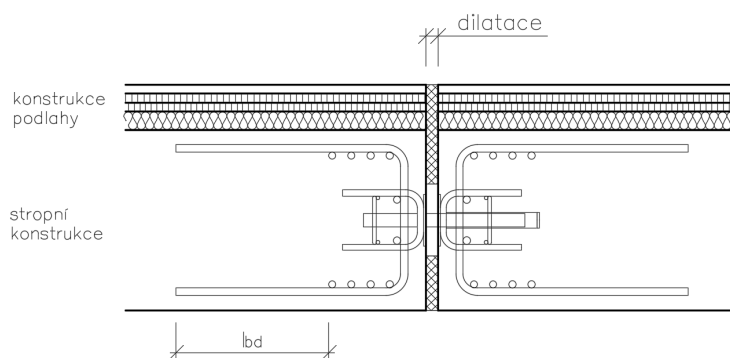
Exteriérové skladby budou dvojího druhu (viz. Obr. 2.10). Na dvoře budovy ve 3. NP bude použita jednoplášťová skladba ploché střechy s dlažbou na podložkách. Další skladba střechy bude na tuto navazovat v podobě přilehlé komunikace tj. jednoplášťová skladba s ochrannou cementovou vrstvou a povrchovou úpravou z dlažebních kostek.



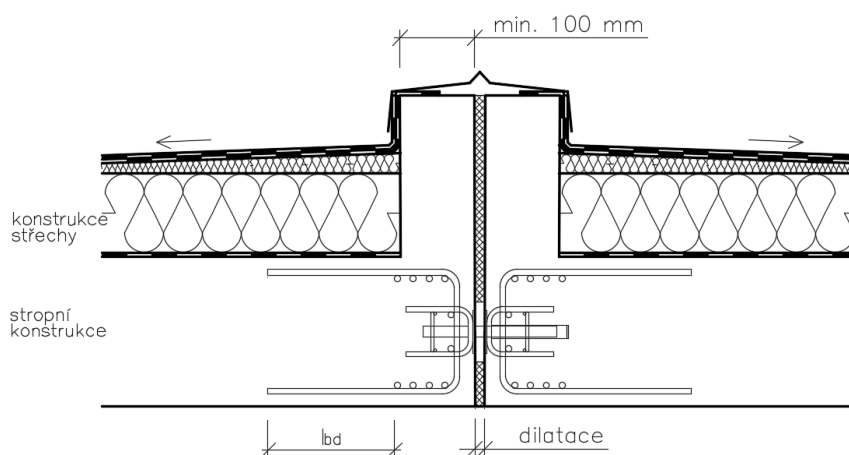
Obr. 2.10: Skladby podlah v exteriéru: dvůr (vlevo), komunikace (vpravo)

Dilatační spára

Délka objektu bude cca 46 m, což se blíží hraničním hodnotám prvků bez dilatace. Dalším nepříznivým faktorem je skutečnost, že konstrukci bude bráněno v podélném pohybu opěrnou stěnou. Z těchto důvodů bude přistoupeno k provedení dilatační spáry po celé výšce objektu kromě základové desky. Předpokládaná počáteční šířka dilatační spáry bude 20 mm a maximální šířka dilatační spáry 30 mm. Dilatační spára bude provedena pomocí smykových trnů fy Schöck typu SLD s těsnící hmotou z materiálu na bázi PVC, smykové trny budou také opatřeny protipožární manžetou s odolností R90. Návrh trnů bude proveden pomocí firemního softwaru Schöck SLD. U průvlaků bude provedena dilatace v místě nulového momentu. Na *Obr. 2.11* a *2.12* je zobrazeno možné řešení dilatace.

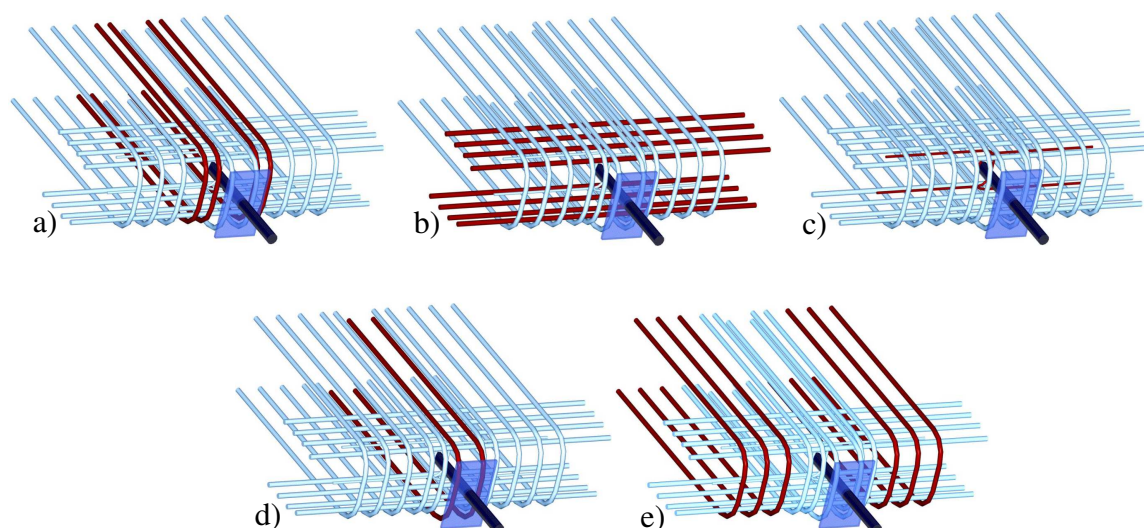


*Obr. 2.11: Dilatační spára stropní desky*



*Obr. 2.12: Dilatační spára střešní desky*

Každý trn bude opatřen přídatnou výztuží viz. *Obr. 2.13*.



*Obr. 2.13: Přídavná výztuž: a – závěsná přídavná výztuž; b – smyková výztuž; c – třmínek na trnu; d – přivařená výztuž; e – přídavné třmínky*

### Pracovní spáry

Pracovní spáry budou umístěny vždy v místě napojení sloupu nebo stěny na stropní (střešní) desku. Umístění pracovních spár je možné vidět na výkresu výztuže č. 10. Před dalším betonováním se každá pracovní spára musí ošetřit navlhčením, není-li vrstva betonu již ztuhlá. Jestliže vrstva betonu již zatuhla, musí být před další betonáží očištěna, dobře provlhčena a pokryta cementovou maltou.

### Použité materiály

Pro monolitickou železobetonovou konstrukci bude použito těchto materiálů

- základová deska	C30/37-XC2
- stropní desky	C30/37-XC1
- průvlaky	C30/37-XC1
- sloupy	C30/37-XC1
- výztuž	B500B

Pro ostatní konstrukce bude použito:

- nenosné příčky	POROTHERM 25 AKU
	POROTHERM 14

### 3. Zatížení

Předmětem této kapitoly je stanovení veškerých zatížení, které mohou na nosnou konstrukci působit po dobu její životnosti dle platných norem:

ČSN EN 1991: *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb* [1]

ČSN EN 1991: *Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem* [2]

ČSN EN 1991: *Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem* [3]

ČSN EN 1991: *Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení* [4]

#### 3.1. Stálé zatížení

Stálé zatížení na konstrukci představují vlastní tíhy nenosných příček a skladby podlah a střešní krytina. Hodnoty stálého zatížení vč. výpočtu jsou uvedeny v *Tab. 3.1.*

*Tab. 3.1: Stálé zatížení*

název	označení	parametry	objemová tíha [kg/m <sup>3</sup> ]	charakter. hodnota	jednotka
<b>vl. tíha</b>					
bude spočtena programem Scia engineer 15.3					
<b>nenosné příčky</b>					
Porotherm 24 + omítka tl. 10 mm	$g_{np,250}$	$(0,24 + 0,02) \cdot 5,0$	1000 1800	14,0	kN/m
Porotherm 14 + omítka tl. 10 mm	$g_{np,150}$	$(0,14 + 0,02) \cdot 5,0$	1000 1800	9,0	kN/m
zídka dvorany tl. 100 mm, v. 1,1 m		$0,1 \cdot 1,1$	2400	2,65	kN/m
<b>lehká plovoucí podlaha</b>					
nášlapná vrstva lino/dlažba/koberec	---	---	---	0,15	kN/m <sup>2</sup>

název	označení	parametry	objemová tíha [kg/m <sup>3</sup> ]	charakter. hodnota	jednotka
roznášecí vrstva 2x OSB tl. 15 mm	---	2 · 0,015 ·	700	0,21	kN/m <sup>2</sup>
zvuková izolace Steprock HD tl. 30 mm	---	0,03	137,3	0,04	kN/m <sup>2</sup>
celkem				0,5	kN/m <sup>2</sup>
<b>odpružená podlaha v tanečním sále</b>					
nášlapná vrstva parkety tl. 22 mm	---	0,022	700	0,15	kN/m <sup>2</sup>
roznášecí vrstva OSB tl. 20 mm	---	0,02	700	0,14	kN/m <sup>2</sup>
odpružená vrstva trojitý laťový rošt	---	0,01	700	0,07	kN/m <sup>2</sup>
celkem				0,5	kN/m <sup>2</sup>
<b>zatížení od podlahy</b>	<i>g<sub>podlaha</sub></i>			0,5	kN/m <sup>2</sup>
<b>plochá střecha jednoplášťová s dlažbou - pochozí</b>					
betonová dlažba na podločkách tl. 40 mm	---	0,04	2300	1,0	kN/m <sup>2</sup>
HI 2x pás z SBS modifikovaného asfaltu tl. 4,5+3 mm	---	0,0075	1230	0,09	kN/m <sup>2</sup>
spádové klíny EPS 150 tl. 20 až 40 mm (prům. tl. 30 mm)	---	0,03	23	0,01	kN/m <sup>2</sup>
TI EPS 150 tl. 160 mm	---	0,16	23	0,04	kN/m <sup>2</sup>
provizorní HI pás s SBS z modifikovaného asfaltu s hliníkovou vložkou tl. 4 mm	---	0,004	1070	0,04	kN/m <sup>2</sup>
celkem	<i>g<sub>stř.p</sub></i>			1,20	kN/m <sup>2</sup>
<b>plochá střecha jednoplášťová - nepochozí</b>					
hydroizolační vrstva folie z PVC-P tl. 1,5 mm	---	0,0015	1230	0,02	kN/m <sup>2</sup>

název	označení	parametry	objemová tíha [kg/m <sup>3</sup> ]	charakter. hodnota	jednotka
spádové klíny EPS 100 tl. 20 až 40 mm (prům. tl. 30 mm)	---	0,03	23	0,01	kN/m <sup>2</sup>
TI – EPS 100 tl. 160 mm	---	0,16	23	0,04	kN/m <sup>2</sup>
provizorní HI pás z SBS modifikovanéh o asfaltu tl. 4 mm	---	0,004	1135	0,05	kN/m <sup>2</sup>
celkem	$g_{stř.nep}$			0,15	kN/m <sup>2</sup>
<b>dlážděná vozovka</b>					
dlažební kostky žulové 80x80 mm	---	0,08	2600	2,08	kN/m <sup>2</sup>
pískové/ŠP lože tl. 25 mm	---	0,025	2000	0,50	kN/m <sup>2</sup>
ochrana HI cementová malta	---	0,05	2100	1,05	kN/m <sup>2</sup>
HI 2x pás z SBS modifikovaného asfaltu tl. 4,5+3 mm	---	0,0075	1230	0,09	kN/m <sup>2</sup>
spádové klíny EPS 150 tl. 20 až 40 mm	---	0,03	23	0,01	kN/m <sup>2</sup>
TI EPS 150 tl. 160 mm	---	0,16	23	0,04	kN/m <sup>2</sup>
provizorní HI pás s SBS z modifikovaného asfaltu s hliníkovou vložkou tl. 4 mm	---	0,004	1070	0,04	kN/m <sup>2</sup>
celkem	$g_{voz}$			3,80	kN/m <sup>2</sup>
<b>zemní tlak v klidu s přitížením</b>					
výška stěny	$H$			10	m
poissonův součinitel	$\mu$			0,35	---
součinitel tlaku v klidu $\frac{[\mu]}{1 - [\mu]}$	$K_r$	$\frac{0,35}{1 - 0,35}$		0,538	---
přítížení budovou	$g_k$			300	kN/m <sup>2</sup>
zatížení od přitížení $[g_k] \cdot [K_r]$	$g_{bud}$	$300 \cdot 0,538$		161,4	kN/m <sup>2</sup>
pozn.: tlak od zeminy bude vypočítán programem Scia engineer 15.3					

název	označení	parametry	charakter. hodnota	jednotka
<b>zatížení od výtahu LC MINI 500</b>				
Schéma				
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>Řez</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Půdorys</p> </div> </div>				
síla pod pístem	$R_1$		19,82	kN
síly působící na vodítka	$F_x$		3,95	kN
	$F_y$		1,6	kN
síla pod vodítky	$R_4$		29,1	kN
síla pod nárazníkem	$R_2$		33,6	kN
pozn.: dle ČSN EN 81-2 musí dno prohlubně pod nárazníkem přenést čtyřnásobek statické síly $R_2$ hodnoty sil a jejich umístění byly převzaty od výrobce Lift components s.r.o.				
<b>zatížení od vřetenového schodiště</b>				
vl. tíha jednoho stupně	$g_{vl, stup}$	$0,185 \cdot 0,257 \cdot 25 \cdot 1/2 \cdot 1,6$	0,95	kN
počet stupňů	$n$		81	ks
vl. tíha vřeten. sloupu	$g_{sloup}$	$\pi \frac{0,25^2}{4} \cdot 10 \cdot 25$	12,27	kN
celkem	$g_{vř, sch}$	$12,27 + 81 \cdot 0,95$	89,22	kN

### 3.2. Užitné zatížení

Budova základní umělecké školy byla dle ČSN EN 1991-1-1 rozdělena do několika užitných kategorií. V následující Tab. 3.2 jsou uvedeny hodnoty užitného zatížení.

Tab. 3.2: Užitné zatížení

kategorie	označení	specifikace	charakter. hodnota	jednotka
A	$q_{A, str}$	stropní konstrukce – toalety/šatny	1,5	kN/m <sup>2</sup>
	$q_{A, sch}$	schodiště	3,0	kN/m <sup>2</sup>
B	$q_B$	kancelářské plochy	2,5	kN/m <sup>2</sup>
C1	$q_{C1}$	plochy se stoly	3,0	kN/m <sup>2</sup>
C2	$q_{C2}$	plocha se zabudovanými sedadly	4,0	kN/m <sup>2</sup>
C3	$q_{C3}$	plochy bez překážek pro pohyb osob	5,0	kN/m <sup>2</sup>
C4	$q_{C4}$	plochy určené k pohybovým aktivitám	5,0	kN/m <sup>2</sup>
H	$q_H$	střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav	0,75	kN/m <sup>2</sup>
I	$q_I$	střechy pohoží, kat. C5	5,0	kN/m <sup>2</sup>
E2	$q_{E2}$	skladovací prostory	4,0	kN/m <sup>2</sup>

### 3.3. Klimatické zatížení

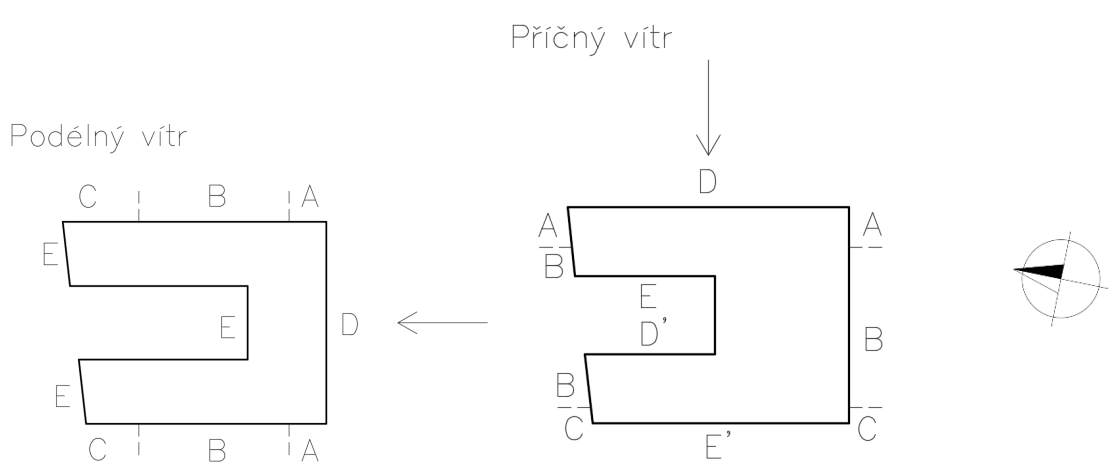
Budova se nachází ve městě Fulnek, okres Nový Jičín, Moravskoslezský kraj. V Tab. 3.3 je uveden výpočet klimatických zatížení působících na nosnou konstrukci.

Tab. 3.3: Klimatické zatížení

název	označení	parametry	charakter. hodnota	jednotka
<b>zatížení sněhem dle ČSN EN 1991-1-3</b>				
III. sněhová oblast typ krajiny: normální střecha s tepelnou propustností $< 1 \text{ W/m}^2\text{K}$				
max. sklon střechy	---	---	5	°
char. hodnota zatížení sněhem na zemi	$s_k$	---	1,5	kN/m <sup>2</sup>



název	označení	parametry	charakter. hodnota	jednotka
tvarový součinitel zatížení sněhem	$\mu_i$	---	0,8	---
součinitel expozice	$C_e$	---	1,0	---
tepelný součinitel	$C_t$	---	1,0	---
návrhové zatížení sněhem na střechu $[s_k] \cdot [\mu_i] \cdot [C_e] \cdot [C_t]$	$s$	$1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0$ $\cdot 1,0$	1,2	kN/m <sup>2</sup>
<b>zatížení větrem dle ČSN EN 1991-1-4</b>				
II. větrová oblast kategorie terénu: III půdorysné rozměry objektu: 32,5 x 46,55 výška budovy (s atikou): h = 15,3 m				
<b>maximální charakteristický dynamický tlak větru</b>				
charakteristická desetiminutová střední rychlost větru	$v_{b,0}$		25	m/s
součinitel směru větru	$C_{dir}$	---	1,0	---
součinitel ročního období	$C_{season}$	---	1,0	---
základní rychlost větru $[v_{b,0}] \cdot [C_{dir}] \cdot [C_{season}]$	$v_b$	$25 \cdot 1,0 \cdot 1,0$	25	m/s
referenční výška	$z$		15,3	m
podmínka: $z = 15,0 \text{ m} < b = 32,5 \text{ m}$ OK				
parametr drsnosti terénu	$z_0$		0,3	m
parametr drsnosti terénu pro II. kategorii terénu	$z_{0,II}$		0,05	m
minimální výška	$z_{min}$		5	m
maximální výška	$z_{max}$		200	m
součinitel terénu $0,19 \left( \frac{[z_0]}{[z_{0,II}]} \right)^{0,07}$	$k_r$	$0,19 \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07}$	0,215	---
podmínka: $z_{min} = 5 \text{ m} < z = 15,3 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$ OK				
součinitel drsnosti terénu $[k_r] \ln \frac{[z]}{[z_0]}$	$c_r(z)$	$0,215 \ln \frac{15,3}{0,3}$	0,847	---
součinitel ortografie	$c_0(z)$		1,0	---
charakteristická střední rychlost větru $[c_r(z)] \cdot [c_0(z)] \cdot [v_b]$	$v_m(z)$	$0,847 \cdot 1,0 \cdot 25$	21,17	m/s
součinitel turbulence	$k_I$		1,0	---

název	označení	parametry	charakter. hodnota	jednotka
intenzita turbulence $\frac{[k_t]}{c_0(z) \ln \frac{[z]}{[z_0]}}$	$I_v(z)$	$\frac{1,0}{1,0 \ln \frac{15,3}{0,3}}$	0,254	---
součinitel expozice $1 + 7 [I_v(z)]$	$c_e(z)$	$1 + 7 \cdot 0,254$	2,780	---
měrná hmotnost vzduchu	$\rho$		1,25	kg/m <sup>3</sup>
základní dynamický tlak větru $\frac{1}{2}[\rho][v_m]^2$	$q_b$	$\frac{1}{2} 1,25 \cdot 21,17^2$	280,2	N/m <sup>2</sup>
maximální charakteristický dynamický tlak větru $[c_e(z)] [q_b]$	$q_p(z)$	$2,80 \cdot 0,278$	0,78	kN/m <sup>2</sup>
<b>součinitelé vnitřního tlaku</b>				
pozn.: předpokládá se umístění otevíratelných otvorů v obvodovém plášti, proto je nutno uvažovat s vnitřním tlakem, zjednodušeně uvažujeme nejneprůpustnější hodnoty součinitelů vnitřního tlaku				
součinitel vnitřního tlaku kladný	$c_{pi}^+$		0,2	---
součinitel vnitřního tlaku záporný	$c_{pi}^-$		-0,3	---
<b>součinitelé vnějšího tlaku – svislé stěny</b>				
pozn.: plocha vystavená účinkům větru > 10 m <sup>2</sup> → bude použit součinitel $c_{pe,10}$				
Schéma				
				
<b>Podélný vítr</b>				
rozměr kolmý na směr větru	$b$		33,0	m
rozměr rovnoběžný se směrem větru	$d$		43,0/39,2	m
parametr větrných oblastí $\min(b; 2h)$	$e$	$\min(33; 2 \cdot 15,3)$	30,6	m

název	označení	parametry	charakter. hodnota	jednotka
poměr: $h/d = 15/43 = 0,35$				
součinitelé vnějšího tlaku (interpolace)	$C_{pe,A}$		-1,2	---
	$C_{pe,B}$		-0,8	---
	$C_{pe,C}$		-0,5	---
	$C_{pe,D}$		0,71	---
	$C_{pe,E}$		-0,33	---
pozn.: bude uvažováno pouze působení podélného větru z jižní strany, ze severní strany bude budova (resp. 3.NP) chráněna stávající budovou ZUŠ				
Příčný vítr				
rozměr kolmý na směr větru	$b$		43,0/39,2	m
rozměr rovnoběžný se směrem větru	$d$		33,0	m
parametr větrných oblastí $\min(b; 2h)$	$e$	$\min(43; 2 \cdot 15,3)$	30,6	m
poměr: $h/d = 15/33 = 0,45$				
součinitelé vnějšího tlaku (interpolace)	$C_{pe,A}$		-1,2	---
	$C_{pe,B}$		-0,8	---
	$C_{pe,C}$		-0,5	---
	$C_{pe,D}$		0,73	---
	$C_{pe,E}$		-0,35	---
pozn.: bude uvažováno pouze působení příčného větru z východní strany, ze západní strany bude budova chráněna okolní zástavbou (Knurrův dům) příčný tlak větru na druhou návětrnou stěnu D' (ve dvoře) krytou budovou bude snižen na polovinu, stejně bude snižen tlak na závětrnou stěnu E'				
<b>součinitelé vnějšího tlaku – plochá střecha</b>				
pozn.: plocha vystavená účinkům větru $> 10 \text{ m}^2 \rightarrow$ bude použit součinitel $C_{pe,10}$				
Schéma				
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Podélný vítr</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Příčný vítr</p> </div> </div>				
Podélný vítr				
rozměr kolmý na směr větru	$b$		33,0	m
rozměr rovnoběžný se směrem větru	$d$		43,0/39,2	m

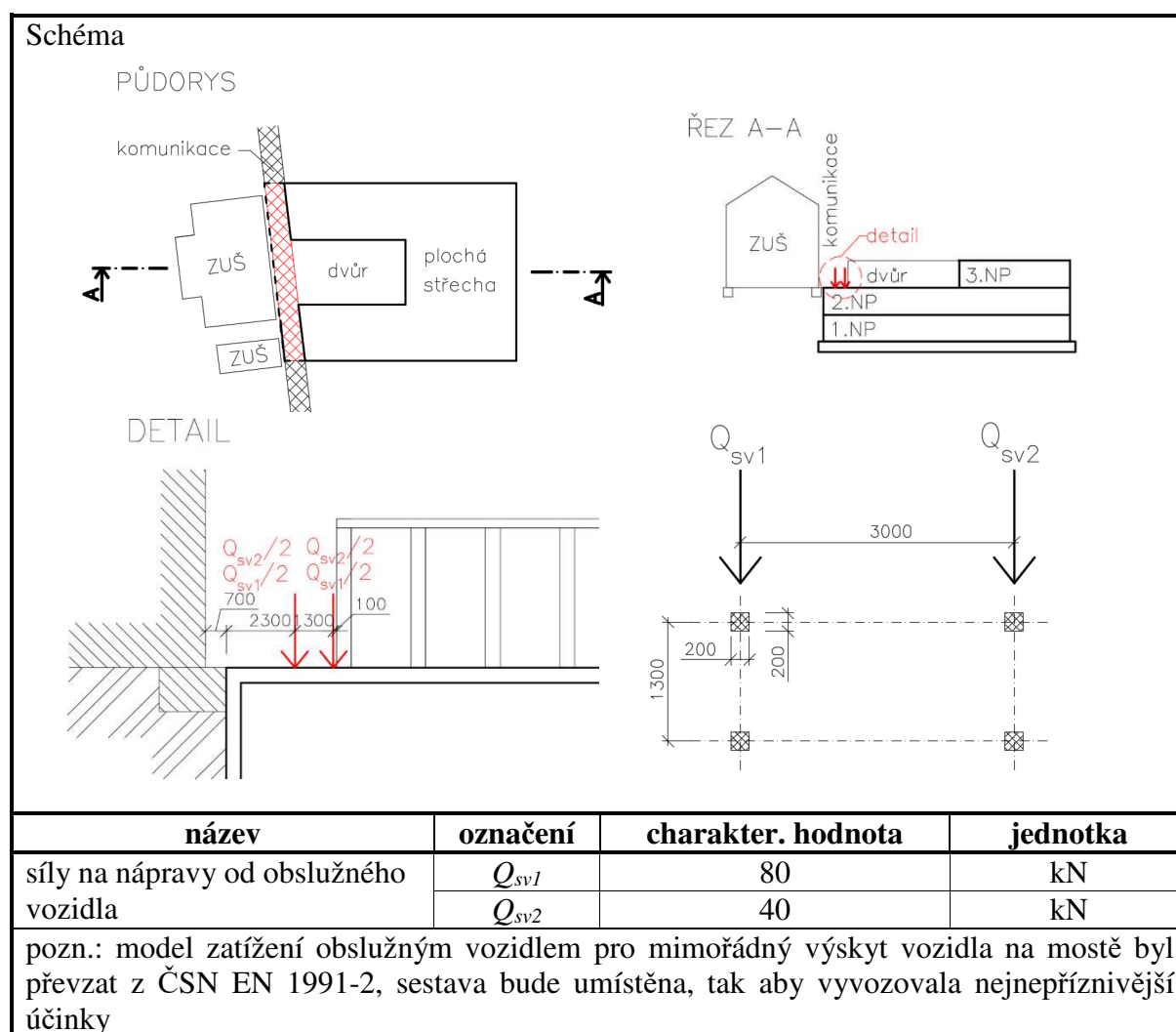
název	označení	parametry	charakter. hodnota	jednotka
parametr větrných oblastí $\min(b; 2h)$	$e$	$\min(33; 2 \cdot 15,3)$	30,6	m
výška atiky	$h_p$		0,3	m
poměr: $h_p/h = 0,3/15 = 0,02 \rightarrow$ střecha s ostrými hranami				
součinitelé vnějšího tlaku	$C_{pe,F}$		-1,8	---
	$C_{pe,G}$		-1,2	---
	$C_{pe,H}$		-0,7	---
	$C_{pe,I}$		$\pm 0,2$	---
pozn.: bude uvažováno pouze působení podélného větru z jižní strany, ze severní strany bude budova chráněna stávající budovou ZUŠ				
Příčný vítr				
rozměr kolmý na směr větru	$b$		43,0/39,2	m
rozměr rovnoběžný se směrem větru	$d$		33,0	m
parametr větrných oblastí $\min(b; 2h)$	$e_1$	$\min(43; 2 \cdot 15,3)$	30,6	m
	$e_2$	$\min(20; 2 \cdot 15)$	20,0	m
poměr: $h_p/h = 0,3/15 = 0,02 \rightarrow$ střecha s ostrými hranami				
součinitelé vnějšího tlaku	$C_{pe,F}$		-1,8	---
	$C_{pe,G}$		-1,2	---
	$C_{pe,H}$		-0,7	---
	$C_{pe,I}$		$\pm 0,2$	---
pozn.: bude uvažováno pouze působení příčného větru z východní strany, ze západní strany bude budova chráněna okolní zástavbou (Knurrův dům)				
<b>výsledné tlaky – svislé stěny</b>				
Podélný vítr vnitřní součinitel $c_{pi}^+$ $[q_p] \cdot ([c_{pe}] - [c_{pi}^+])$	$w_{pdl,A}^+$	0,78 (-1,2 – 0,2)	-1,09	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{pdl,B}^+$	0,78 (-0,8 – 0,2)	-0,78	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{pdl,C}^+$	0,78 (-0,5 – 0,2)	-0,55	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{pdl,D}^+$	0,78 (0,71 – 0,2)	0,40	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{pdl,E}^+$	0,78 (-0,33 – 0,2)	-0,41	kN/m <sup>2</sup>
Podélný vítr vnitřní součinitel $c_{pi}^-$ $[q_p] \cdot ([c_{pe}] - [c_{pi}^-])$	$w_{pdl,A}^-$	0,78 (-1,2 + 0,3)	-0,70	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{pdl,B}^-$	0,78 (-0,8 + 0,3)	-0,39	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{pdl,C}^-$	0,78 (-0,5 + 0,3)	-0,16	kN/m <sup>2</sup>

název	označení	parametry	charakter. hodnota	jednotka
	$w_{pdl,D}^-$	0,78 (0,71 + 0,3)	0,79	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{pdl,E}^-$	0,78 (-0,33+ 0,3)	-0,02	kN/m <sup>2</sup>
Příčný vítr vnitřní součinitel $c_{pi}^+$ $[q_p] \cdot ([c_{pe}] - [c_{pi}^+])$	$w_{přč,A}^+$	0,78 (-1,2 – 0,2)	-1,09	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{přč,B}^+$	0,78 (-0,8 – 0,2)	-0,78	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{přč,C}^+$	0,78 (-0,5 – 0,2)	-0,55	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{přč,D}^+$	0,78 (0,73 – 0,2)	0,41	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{přč,E}^+$	0,78 (-0,35– 0,2)	-0,43	kN/m <sup>2</sup>
Příčný vítr vnitřní součinitel $c_{pi}^-$ $[q_p] \cdot ([c_{pe}] - [c_{pi}^-])$	$w_{přč,A}^-$	0,78 (-1,2 + 0,3)	-0,70	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{přč,B}^-$	0,78 (-0,8 + 0,3)	-0,39	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{přčC}^-$	0,78 (-0,5 + 0,3)	-0,16	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{přčD}^-$	0,78 (0,73 + 0,3)	0,80	kN/m <sup>2</sup>
	$w_{přč,E}^-$	0,78 (-0,35+ 0,3)	-0,04	kN/m <sup>2</sup>
<b>výsledné tlaky – plochá střecha</b>				
Podélný/Příčný vítr vnitřní součinitel $c_{pi}^+$ $[q_p] \cdot ([c_{pe}] - [c_{pi}^+])$	$w_F^+$	0,78 (-1,8 – 0,2)	-1,56	kN/m <sup>2</sup>
	$w_G^+$	0,78 (-1,2 – 0,2)	-1,09	kN/m <sup>2</sup>
	$w_H^+$	0,78 (-0,7 – 0,2)	-0,70	kN/m <sup>2</sup>
	$w_I^{++}$	0,78 (0,2 – 0,2)	0	kN/m <sup>2</sup>
	$w_I^{-+}$	0,78 (-0,2 – 0,2)	-0,31	kN/m <sup>2</sup>
Podélný/Příčný vítr vnitřní součinitel $c_{pi}^-$ $[q_p] \cdot ([c_{pe}] - [c_{pi}^-])$	$w_F^-$	0,78 (-1,8 + 0,3)	-1,17	kN/m <sup>2</sup>
	$w_G^-$	0,78 (-1,2 + 0,3)	-0,70	kN/m <sup>2</sup>
	$w_H^-$	0,78 (-0,7 + 0,3)	-0,31	kN/m <sup>2</sup>
Podélný/Příčný vítr vnitřní součinitel $c_{pi}^-$ $[q_p] \cdot ([c_{pe}] - [c_{pi}^-])$	$w_I^{+-}$	0,78 (0,2 + 0,3)	0,08	kN/m <sup>2</sup>
	$w_I^{--}$	0,78 (-0,2 + 0,3)	0,39	kN/m <sup>2</sup>

### 3.4. Mimořádné zatížení

Během životnosti konstrukce se může vyskytnout mimořádné zatížení v podobě vozidla situované na stropní konstrukci 2.NP (viz. Schéma v Tab. 3.4). Na části stopní konstrukce přiléhající ke stávající budově ZUŠ je umístěna účelová komunikace. Na tuto část ulice Kostelní je v současnosti zabráněno vjezdu vozidel pomocí sloupků v komunikaci, je tu však možnost zpřístupnění v případě zásahu složek Integrovaného záchranného systému.

Tab. 3.4: Mimořádné zatížení



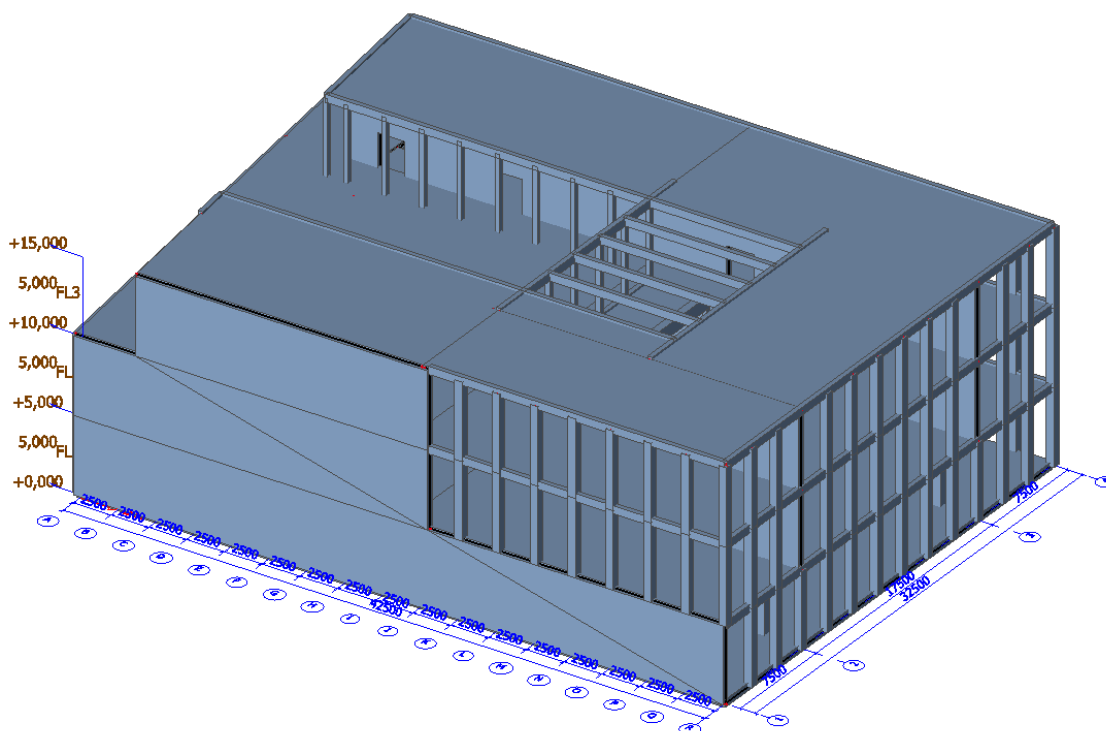


## 4. 3D Model

Pro globální lineární pružnou analýzu konstrukce byl použit 3D výpočtový model vytvořený v programu Scia engineer. Tento model sestává ze základních prvků, kterými jsou:

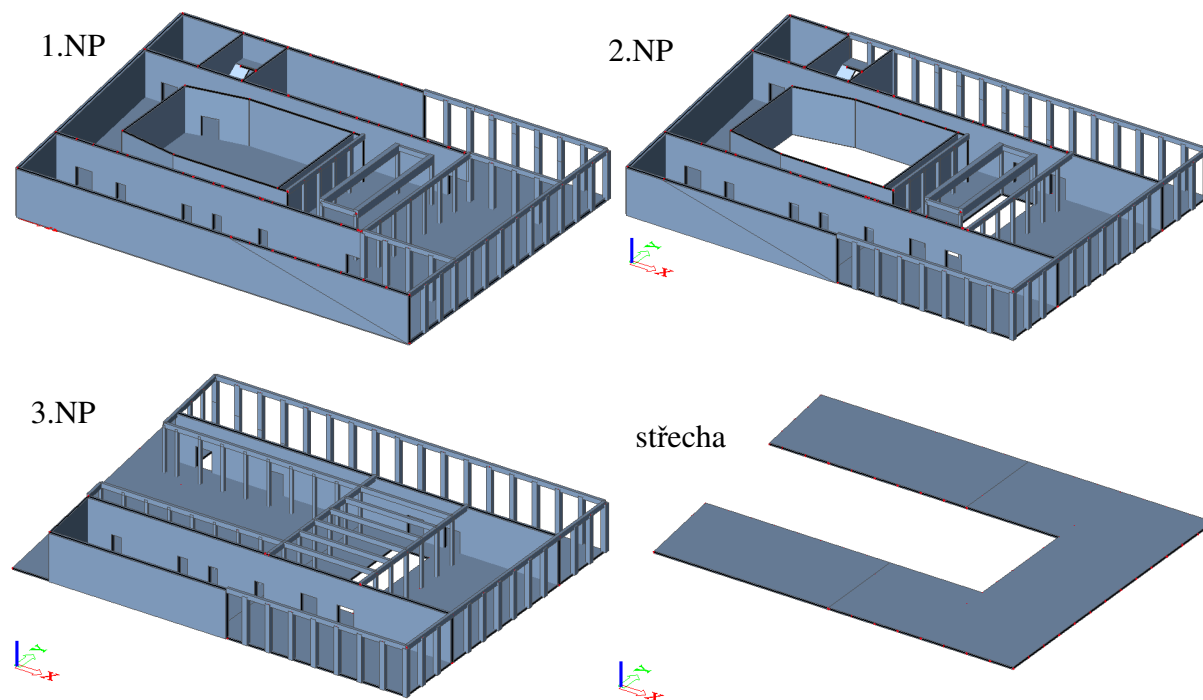
- deska pnutá ve dvou směrech
- trám
- sloup

Základem efektivního postupu prací byla příprava pracovního prostředí v podobě čárového rastru a vytýčení pater budovy. Zásadou funkce „Patra“ se stává model přehlednější pro následnou kontrolu geometrie a čtení výsledků, kdy si po přiřazení prvků k jednotlivým patřům můžeme zobrazit pouze příslušné podlaží budovy (viz. *Obr. 4.1 a Obr. 4.2*). Další sestavování modelu z dílčích prvků byla již rutinní záležitost. Následovalo zadání podpor základové desky typu Jednotlivě s parametry z knihovny programu.



*Obr. 4.1: 3D model s čárovým rastrem a patry*





*Obr. 4.2: Zobrazení jednotlivých pater budovy*

Poslední fází modelování bylo zatížení konstrukce. Pro tento účel bylo vytvořeno 5 skupin zatížení a to: stálé, užitné, sněh, vítr a mimořádné. Do jednotlivých skupin bylo přiřazeno 11 zatěžovacích stavů:

- vl. tíha
- stálé
- užitné: užitné\_1 (plné zatížení), užitné\_2 (šachovnicové rozdělení, var. 1), užitné\_3 (šachovnicové rozdělení, var. 2)
- sněh
- vítr: vítr\_podél+, vítr\_podél-, vítr\_příč+, vítr\_příč-
- mimořádné

Při zadávání zatížení větrem byla využita funkce „Generátor rovinného zatížení“, kdy program Scia Engineer přepočte plošné zatížení působící na 1D prvky na hodnotu rovinného zatížení. Kombinace byly vytvořeny pro mezní stav únosnosti, typ: EN MSU (STR/GEO) Soubor B a pro snadnou kontrolu nejneprůznivější kombinace byla vytvořena i „Třída“ kombinací.

## 5. Statický výpočet

Předmětem této části je statický návrh a následné posouzení jednotlivých nosných prvků základní umělecké školy. Vstupní hodnoty pro návrh byly čerpány z předešlých částí diplomové práce, a to z kapitoly 3. Zatížení a 4. 3D model, odkud byly zjišťovány hodnoty vnitřních sil. Samotný návrh a posouzení pak je zpracován dle doporučených metod uvedených v [5] a [6].

### 5.1 Desky působící ve dvou směrech

#### 5.1.1. Deska nad 1. NP

Deska je specifická třemi otvory (koncertní sál, dvorana, schodiště). V 1. NP se nachází sociální zařízení, skladiště, učebny, kanceláře a taneční sál. Právě zatížení od tanečního sálu společně s uložením na sloupy zapříčiňuje, že se v dané části desky vyskytují největší vnitřní síly a průhyb. Deska je tvořena dílčími deskami D1 až D8 (viz. výkres č. 5: Schéma konstrukčního systému).

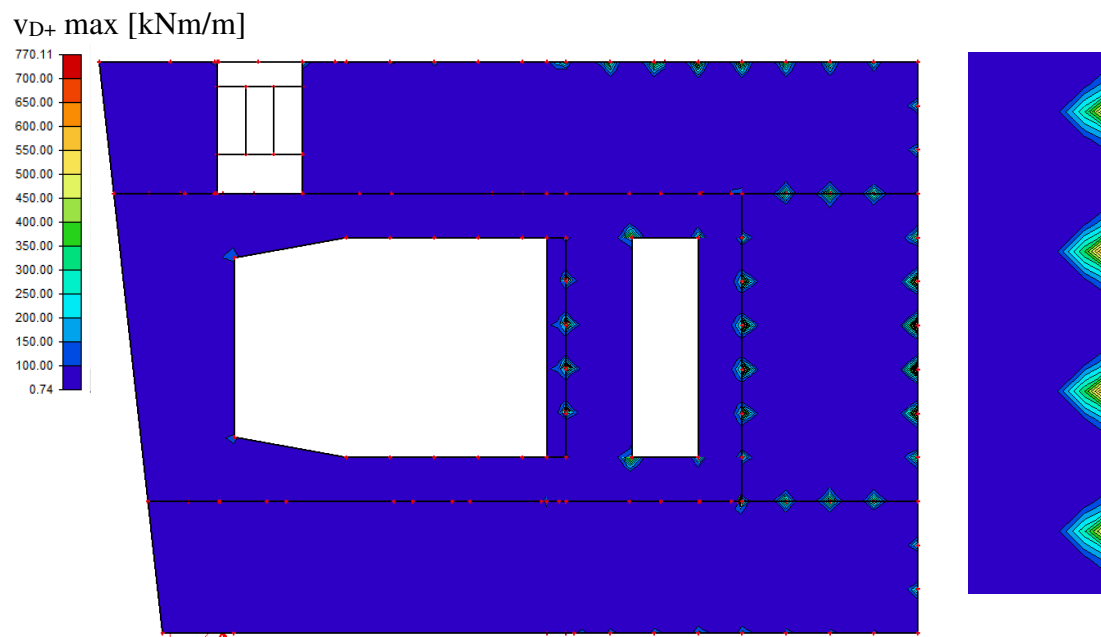
#### Vnitřní síly na desce

Vnitřní síly byly spočteny pomocí programu Scia engineer 15.3. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v *Tab. 5.1* a vyobrazeny na *Obr. 5.1* a *Obr. 5.2*. Reakce v místech podpor použité při redukci záporných momentů byly zjištěny z posouvajících sil.

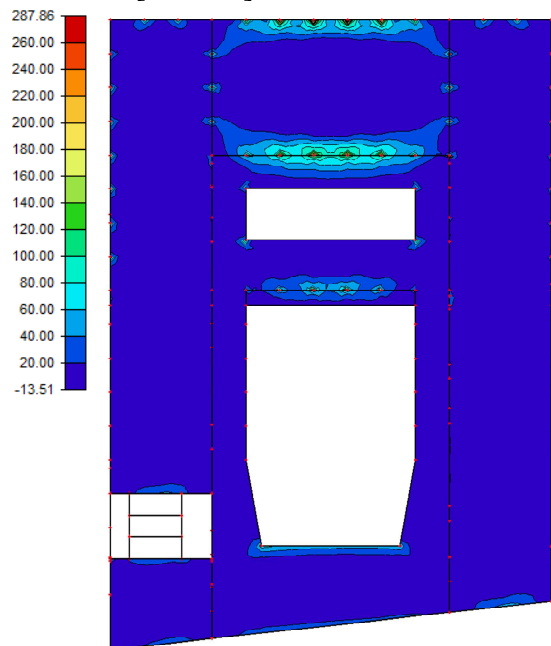
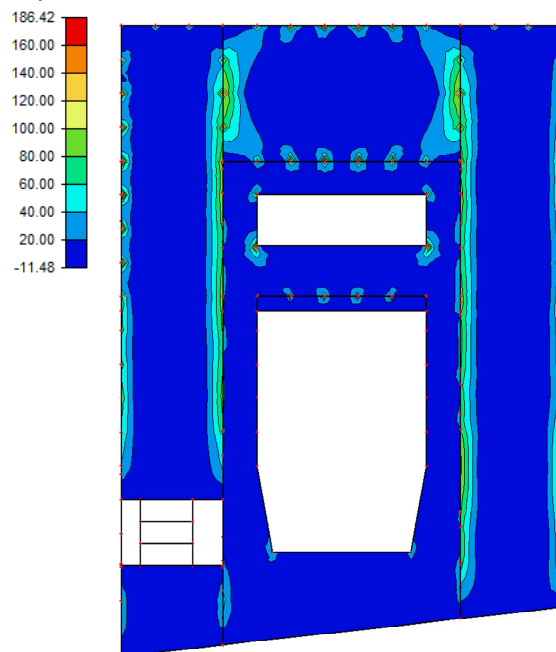
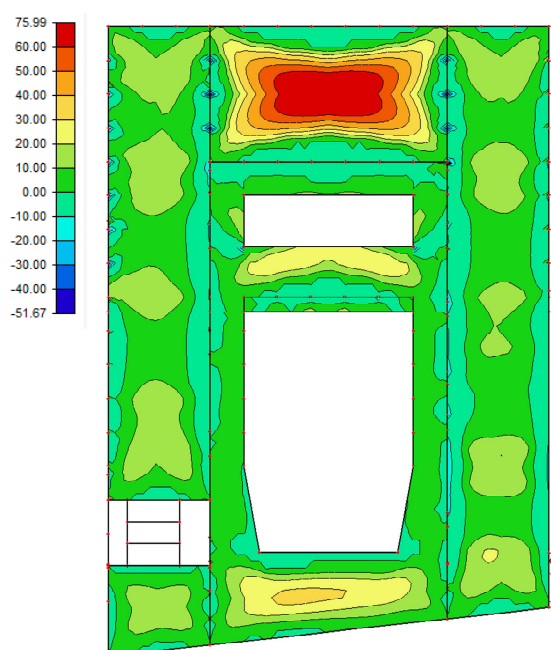
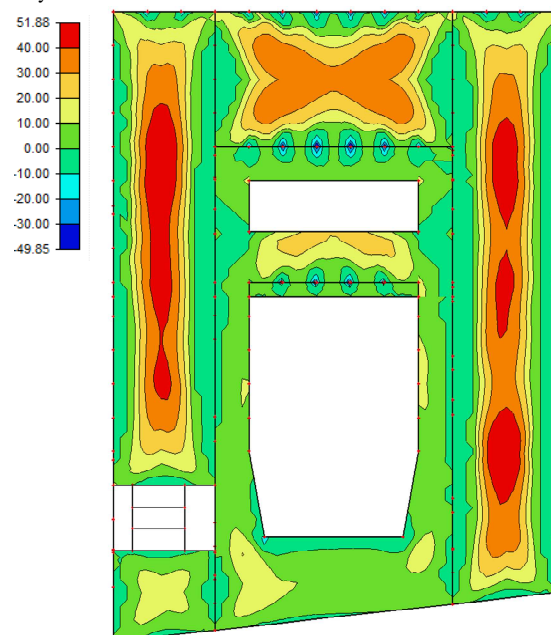
*Tab. 5.1: Vnitřní síly na desce nad 1. NP*

ozn.	hodnota	jedn.	ozn.	hodnota	jedn.
$m_{Ed,x,1}^+$	<b>25,96</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,y,1}^+$	<b>52,98</b>	<b>kNm</b>
$m_{Ed,x,2}^+$	<b>76,23</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,y,2}^+$	<b>31,61</b>	<b>kNm</b>
$m_{Ed,x,1}^-$	-63,03	kNm	$m_{Ed,y,1}^-$	-103,58	kNm
$m_{Ed,x,sl,1}^-$	-290,06	kNm	$m_{Ed,y,sl,1}^-$	-191,01	kNm
$m_{Ed,x, stř,1}^-$	<b>-55,46</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,y, stř,1}^-$	<b>-30,21</b>	<b>kNm</b>
$m_{Ed,x,sl,2}^-$	-197,04	kNm	$m_{Ed,y,sl,2}^-$	-151,27	kNm
$m_{Ed,x, stř,2}^-$	<b>-81,70</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,y, stř,2}^-$	<b>-83,03</b>	<b>kNm</b>
$v_{Ed,1}$	<b>773,14</b>	<b>kN</b>	$v_{Ed,2}$	<b>647,93</b>	<b>kN</b>

redukce nadpodporových momentů					
tloušťka podpory: $t = 0,5 \text{ m}/0,3 \text{ m}$					
$F_{\text{Ed,sup,x},1}$	54,96	kN	$F_{\text{Ed,sup,y},1}$	53,56	kN
$F_{\text{Ed,sup,x,sl},1}$	246,35	kN	$F_{\text{Ed,sup,y,sl},1}$	258,99	kN
$F_{\text{Ed,sup,x,sl},2}$	427,53	kN	$F_{\text{Ed,sup,y,sl},2}$	296,39	kN
$\Delta m_{\text{Ed,x},1}$ $[F_{\text{Ed,sup,x},1}] \cdot [t/8]$	3,44	kNm	$\Delta m_{\text{Ed,y},1}$ $[F_{\text{Ed,sup,y},1}] \cdot [t/8]$	3,35	kNm
$\Delta m_{\text{Ed,x,sl},1}$ $[F_{\text{Ed,sup,x,sl},1}] \cdot [t/8]$	15,40	kNm	$\Delta m_{\text{Ed,y,sl},1}$ $[F_{\text{Ed,sup,y,sl},1}] \cdot [t/8]$	16,19	kNm
$\Delta m_{\text{Ed,x,sl},2}$ $[F_{\text{Ed,sup,x,sl},2}] \cdot [t/8]$	26,72	kNm	$\Delta m_{\text{Ed,y,sl},2}$ $[F_{\text{Ed,sup,y,sl},2}] \cdot [t/8]$	18,52	kNm
$m_{\text{Ed,red,x},1^-}$	-61,61	kNm	$m_{\text{Ed,red,y},1^-}$	-100,23	kNm
$m_{\text{Ed,red,x,sl},1^-}$	-274,66	kNm	$m_{\text{Ed,red,y,sl},1^-}$	-174,82	kNm
$m_{\text{Ed,red,x,sl},2^-}$	-170,32	kNm	$m_{\text{Ed,red,y,sl},2^-}$	-132,75	kNm



Obr. 5.1: Dimenzační posouvající síla

$m_{xD+}$  max [kNm/m] $m_{yD+}$  max [kNm/m] $m_{xD-}$  max [kNm/m] $m_{yD-}$  max [kNm/m]

Obr. 5.2: Dimenzační ohybové momenty

**Parametry vstupující do výpočtu**

V níže uvedené Tab. 5.2 jsou uvedeny parametry desky nad 1. NP a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.2: Parametry desky a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
tloušťka desky	$h$	300	mm
rozměry desky	$L_{x,max}$	33,0	m
	$L_{x,min}$	10,1	m
	$L_{y,max}$	46,78	m
	$L_{y,min}$	5,0	m
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku $[f_{ck}]/[\gamma_c]$	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu $[f_{yk}]/[\gamma_s]$	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

**Krytí výztuže**

předpoklad:  $\varnothing = 16$  mm

minimální krycí vrstva s přihlédnutím

k požadavku soudržnosti

toleranční zvětšení

nominální krycí vrstva

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(16 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 16 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 9 = 25 \text{ mm}$$

**Mezní stav únosnosti - ohyb**

- **ohybový moment:  $m_{Ed,y,2^+} = 31,61 \text{ kNm}$**

$$m_{Ed,x,1^+} = 25,96 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř,1^-} = 30,31 \text{ kNm}$$

Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{min}^+ = h - c_{nom} - \frac{3}{2}\varnothing = 300 - 25 - \frac{3}{2}10 = 260 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed,y}^+}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}^+} = \frac{31,61 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,26} = 311 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{311 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,253 \text{ m}$$

**navrhuji:  $\varnothing 10 \text{ mm}/200 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,2} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 393 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 393 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 170,74 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{170,74 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 10,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_{s,x} (d_{min}^+ - 0,4x) = 170,74 (0,26 - 0,4 \cdot 10,7 \cdot 10^{-3}) = 43,66 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,2^+} = 31,61 \text{ kNm} < m_{Rd} = 43,66 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř,1^-} = 30,31 \text{ kNm} < m_{Rd} = 43,66 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,1^+} = 25,96 \text{ kNm} < m_{Rd} = 43,66 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**

Průřez vyztužený  $\varnothing 10/200 \text{ mm}$  vyhoví na I. mezní stav, nevyhoví však na II. mezní stav (viz. Mezní stav použitelnosti – omezení trhlin). Výztuž byla dodatečně změněna na  **$\varnothing 10/180 \text{ mm}$** .

- **ohybový moment:**  $m_{Ed,y,stř,2^-} = |-83,03| \text{ kNm}$

$$m_{Ed,x,stř,2^-} = |-81,70| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,2^+} = 76,23 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,x,1^-} = |-61,61| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř,1^-} = |-55,46| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,1^+} = 52,98 \text{ kNm}$$

### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \frac{3}{2}\varnothing = 300 - 25 - \frac{3}{2}10 = 260 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{|m_{Ed,y,stř,2^-}|}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_y} = \frac{83,03 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,26} = 816 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{816 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,096 \text{ m}$$

**navrhují:  $\varnothing 10 \text{ mm}/100 \text{ mm}$**

skutečná plocha  
výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,09} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 785 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 785 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 341,48 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{341,48 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 21,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 341,48 (0,26 - 0,4 \cdot 21,3 \cdot 10^{-3}) = 85,87 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř,2^-} = |-83,03| \text{ kNm} < m_{Rd} = 85,87 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř,2^-} = |-81,70| \text{ kNm} < m_{Rd} = 85,87 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,2^+} = 76,23 \text{ kNm} < m_{Rd} = 85,87 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,x,1^-} = |-61,61| \text{ kNm} < m_{Rd} = 85,87 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř,1^-} = |-55,46| \text{ kNm} < m_{Rd} = 85,87 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,1^+} = 52,98 \text{ kNm} < m_{Rd} = 85,87 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**

**VYHOVÍ**

**VYHOVÍ**

**VYHOVÍ**

**VYHOVÍ**

**VYHOVÍ**

- ohybový moment:  $m_{Ed,y,sl,1^-} = |-174,82| \text{ kNm}$

$$m_{Ed,red,x,sl,2^-} = |-170,32| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,y,1^-} = |-132,75| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl,2^-} = |-100,23| \text{ kNm}$$

### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \frac{3}{2}\varnothing = 300 - 25 - \frac{3}{2}16 = 251 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{|m_{Ed,red,y,1^-}|}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_y^-} = \frac{174,82 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,251} = 1780 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{1780 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 0,113 \text{ m}$$

navrhují:  $\varnothing 16 \text{ mm}/110 \text{ mm}$

skutečná plocha  
výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,11} \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 1828 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 1828 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 794,71 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{794,71 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 49,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 794,71 (0,251 - 0,4 \cdot 49,7 \cdot 10^{-3}) = 183,68 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl,1^-} = |-174,82| \text{ kNm} < m_{Rd} = 183,68 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,x,sl,2^-} = |-170,32| \text{ kNm} < m_{Rd} = 183,68 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,y,1^-} = |-132,75| \text{ kNm} < m_{Rd} = 183,68 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,y,sl,1^-} = |-100,23| \text{ kNm} < m_{Rd} = 183,68 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**

- ohybový moment:  $m_{Ed,red,x,sl,1^-} = |-274,66| \text{ kNm}$

### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d = h - c_{nom} - \frac{\varnothing}{2} = 300 - 25 - \frac{16}{2} = 267 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{|m_{Ed,red,y,sl,1^-}|}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_x^-} = \frac{274,66 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,267} = 2629 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$



vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{2629 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 0,076 \text{ m}$$

**navrhují: Ø16 mm/70 mm**skutečná plocha  
výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,07} \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 2872 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 2720 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 1248,83 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1248,83 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 78,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d - 0,4x) = 1248,83 (0,267 - 0,4 \cdot 78,1 \cdot 10^{-3}) = 294,45 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,x,sl,I} = |-274,66| \text{ kNm} < m_{Rd} = 294,45 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**• **konstrukční zásady**

omezení množství výztuže

$$a_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x \right\} = \max \left\{ 0,26 \frac{2,9}{500} 1 \cdot 0,251 \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 379 \cdot 10^{-6} \\ 326 \cdot 10^{-6} \end{array} \right\} = 379 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,3 = 12000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,min} = 379 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 393 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVÍ**

$$a_{s,max} = 12000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 2872 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0781}{0,251} = 0,311 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

**VYHOVÍ**

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 300; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 250 \text{ mm} > s_{y,I} = 200 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

minimální světlá vzdálenost

$$s_{min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 70 - 16 = 54 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

- **Kotevní délka**

pro  $\varnothing = 10$  mm:

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{10 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 362,5 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 362,5 = 362,5 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 370$  mm**

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 362,5; 10 \cdot 10; 100 \text{ mm}) = 108,75 \text{ mm}$$

**$l_{bd} = 370 \text{ mm} > l_{b,min} = 108 \text{ mm}$**

**VYHOVÍ**

pro  $\varnothing = 16$  mm:

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{16 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 580 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = 580 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 580$  mm**

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 580,5; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = 174 \text{ mm}$$

**$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 174 \text{ mm}$**

**VYHOVÍ**

- shrnutí

Pro přehlednost navrhnutých výztuží na ohyb jsou údaje upořádané v *Tab. 5.3*.

*Tab. 5.3: Výztuž na ohyb*

ozn.	hodnota	jednotka	výztuž	posudek
$m_{Ed,x,1}^+$	25,96	kNm	Ø10/180	VYHOVÍ
$m_{Ed,y,stř,1}^-$	30,31	kNm		
$m_{Ed,y,2}^+$	31,61	kNm		
$m_{Ed,y,1}^+$	52,98	kNm	Ø10/100	VYHOVÍ
$m_{Ed,x,stř,1}^-$	-55,46	kNm		
$m_{Ed,red,x,1}^-$	-61,61	kNm		
$m_{Ed,x,2}^+$	76,23	kNm		
$m_{Ed,x,stř,2}^-$	-81,70	kNm		
$m_{Ed,y,stř,2}^-$	-83,03	kNm		
$m_{Ed,y,sl,2}^-$	-100,23	kNm	Ø16/110	VYHOVÍ
$m_{Ed,red,y,1}^-$	-132,75	kNm		
$m_{Ed,red,x,sl,2}^-$	-170,32	kNm		
$m_{Ed,y,sl,1}^-$	-174,82	kNm		
$m_{Ed,red,x,sl,1}^-$	-274,66	kNm	Ø16/70	VYHOVÍ

### Mezní stav únosnosti – smyk

- posouvající síla  $v_{Ed} = 773,14$  kN, krajní sloup

efektivní výška průřezu:

$$d_x = 267 \text{ mm}$$

$$d_y = 251 \text{ mm}$$

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{267 + 251}{2} = 259 \text{ mm}$$

### Posouzení odolnosti stropní desky proti rozdrčení tlakových diagonál (na obvodu sloupu)

nultý kontrolovaný obvod

$$u_0 = 3c = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ m}$$

max. návrhové smykové  
napětí

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_0 d_{eff}} = \frac{1,4 \cdot 773,14}{1,5 \cdot 0,259} 10^{-3} = 2,79 \text{ MPa}$$

redukční součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528 \text{ MPa}$$

maximální únosnost betonu  
při protlačení na obvodu  
sloupu

$$v_{Rd,max} = v f_{cd} = 0,528 \cdot 20 = 10,56 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,0} = 2,79 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 10,56 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení smykové odolnosti stropu bez smykové výztuže

první kontrolovaný obvod	$u_1 = 3c + 2\pi d_{eff} = 3 \cdot 0,5 + 2\pi \cdot 0,259 = 3,13 \text{ m}$	
návrhové smykové napětí	$v_{Ed,1} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_1 d_{eff}} = \frac{1,4 \cdot 773,14}{3,13 \cdot 0,259} 10^{-3} = 1,34 \text{ MPa}$	
stupeň vyztužení	$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{(c_x + 6d_{eff})d_x} = \frac{2872 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,259)0,267} = 5,2 \cdot 10^{-3}$	
	$\rho_y = \frac{a_{s,y}}{(c_y + 6d_{eff})d_y} = \frac{1828 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,259)0,251} = 3,5 \cdot 10^{-3}$	
	$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} = \sqrt{5,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}} = 4,3 \cdot 10^{-3} < 0,02$	<b>OK</b>
ostatní parametry vstupující do výpočtu	$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$	
	$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{259}} = 1,88$	
max. návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže	$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,88 (100 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} = 0,53 \text{ MPa}$	
minimální únosnost betonu	$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,88^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,49 \text{ MPa}$	
<b><math>v_{Rd,c} = 0,53 \text{ MPa} &gt; v_{min} = 0,49 \text{ MPa}</math></b>		<b>VYHOVÍ</b>
<b><math>v_{Ed,1} = 1,34 \text{ MPa} &gt; v_{Rd,c} = 0,53 \text{ MPa}</math></b>		<b>NEVYHOVÍ</b>
		$\Rightarrow$ nutno navrhnout smykovou výztuž

Posouzení smykové odolnosti stropu se smykovou výztuží**první kontrolovaný obvod**

pevnost smyk. výztuže (pro návrh)	$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 0,259 = 314,75 \text{ MPa}$
radiální vzdálenost mezi trny	$s_r = 0,75d_{eff} = 0,75 \cdot 259 = 194 \text{ mm}$
volím: $s_r = 190 \text{ mm}$	

nutná plocha výztuže

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} a_{sw,req} f_{ywd,eff} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha \leq v_{Ed,1}$$

$$\Rightarrow a_{sw,req} = \frac{v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c}}{1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} f_{ywd,eff} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha} =$$

$$= \frac{1,53 - 0,75 \cdot 0,53}{1,5 \frac{0,259}{0,19} 314,75 \frac{1}{3,13 \cdot 0,259} \sin 90^\circ} =$$

$$= 1182 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

volím:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ 

skutečná plocha výztuže

$$a_{sw,1} = \pi \frac{\varnothing^2}{4} = \pi \frac{0,01^2}{4} = 79 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n = \frac{a_{sw,req}}{a_{sw,1}} = \frac{1182 \cdot 10^{-6}}{79 \cdot 10^{-6}} = 15,1 \text{ ks}$$

**volím: 14  $\varnothing 10 \text{ mm}$** 

skutečná plocha výztuže

$$a_{sw} = n a_{sw,1} = 14 \cdot 79 \cdot 10^{-6} = 1100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

smyková únosnost se

smykovou výztuží

na prvním kontrolovaném

obvodu

$$v_{Rd,cs,1} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} a_{sw} f_{ywd} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha =$$

$$= 0,75 \cdot 0,53 + 1,5 \frac{0,259}{0,19} 1100 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \frac{1}{3,13 \cdot 0,259} \sin 90^\circ =$$

$$= 1,60 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,1} = 1,34 \text{ MPa} < v_{Rd,cs} = 1,60 \text{ MPa}$$

**VYHOVÍ****druhý kontrolovaný obvod**

druhý kontrolovaný obvod

$$u_2 = 3c + 2\pi d_{eff} = 3 \cdot 0,5 + 4 \pi \cdot 0,259 = 4,75 \text{ m}$$

návrhová smyková síla

$$v_{Ed,2} = 208,61 \text{ kN}$$

návrhové smykové napětí

$$v_{Ed,2} = \frac{\beta v_{Ed,2}}{u_2 d_{eff}} = \frac{1,4 \cdot 208,61}{4,75 \cdot 0,259} 10^{-3} = 0,24 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,2} = 0,24 \text{ MPa} < v_{Rd,c} = 0,53 \text{ MPa}$$

**VYHOVÍ****kontrolovaný obvod, ve kterém není požadována smyk. výztuž ( $v_{Ed,out} = v_{Rd,c}$ )**vzdálenost  $u_{out}$ 

(interpolace)

$$r = - \frac{(2d_{eff} - 4d_{eff})(v_{Ed,1} - v_{Rd,c})}{v_{Ed,1} - v_{Ed,2}} =$$

$$= - \frac{(2 \cdot 0,259 - 4 \cdot 0,259)(1,34 - 0,53)}{1,34 - 0,24} =$$

$$= 0,38 \text{ m} \Rightarrow r_{out} = 2d_{eff} + r = 0,52 + 0,38 = 0,90 \text{ m}$$

Konstrukční zásady

vzdálenost 1. řady výztuže

$$0,3 d_{eff} < x < 0,5 d_{eff}$$

$$0,3 \cdot 0,259 < x < 0,5 \cdot 0,259$$

$$0,78 \text{ m} < x < 0,13 \text{ m}$$

**volím:  $x = 0,1 \text{ m}$** 

tangenciální vzdálenosti mezi trny (maximální) – měřeno v programu AutoCAD

$$s_{t,1} = 0,14 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,2} = 0,28 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,3} = 0,43 \text{ m} > 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**NEVYHOVÍ**

$$s_{t,3} = 0,59 \text{ m} > 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**NEVYHOVÍ**vzdálenost posledního trnu od obvodu  $u_{out}$ 

$$r_{out} - x - 3s_r = 0,90 - 0,1 - 3 \cdot 0,19 = 0,23 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**tangenciální vzdálenost trnů na obvodu  $u_l$ 

$$s_{t,u_l} = 0,47 \text{ m} > 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**NEVYHOVÍ**

minimální stupeň vyztužení

1. řada

$$\rho_{sw,1} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,1}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,14} = 44,5 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

2. řada

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,2}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,28} = 22,3 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

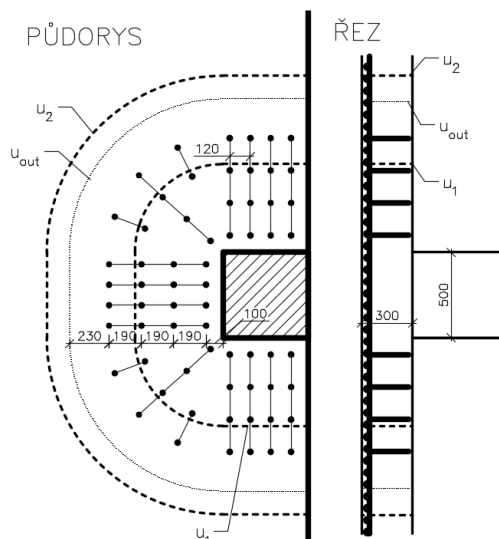
3. řada

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,2}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,21} = 29,7 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

4. řada

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,2}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,28} = 22,3 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

Aby byly splněny konstrukční zásady i ve dvou posledních řadách byly přidány smykové lišty se 2 trny (viz. Obr. 5.3). Navržené smykové lišty budou od firmy JORDAHL konkrétně 4 ks JDA-2/10/190 a 14 ks JDA-4/10/190.



Obr. 5.3: Schéma výztuže na protlačení, krajní sloup

- posouvající síla  $v_{Ed} = 647,3 \text{ kN}$ , vnitřní sloup

efektivní výška průřezu:

$$d_x = 267 \text{ mm}$$

$$d_y = 251 \text{ mm}$$

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{267 + 251}{2} = 259 \text{ mm}$$

#### Posouzení odolnosti stropní desky proti rozdrčení tlakových diagonál (na obvodu sloupu)

nultý kontrolovaný obvod

$$u_0 = 4c = 4 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ m}$$

max. návrhové smykové  
napětí

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_0 d_{eff}} = \frac{1,15 \cdot 647,93}{2,0 \cdot 0,259} 10^{-3} = 1,44 \text{ MPa}$$

redukční součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528 \text{ MPa}$$

maximální únosnost betonu  
při protlačení na obvodu  
sloupu

$$v_{Rd,max} = v f_{cd} = 0,528 \cdot 20 = 10,56 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,0} = 1,44 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 10,56 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

#### Posouzení smykové odolnosti stropu bez smykové výztuže

první kontrolovaný obvod

$$u_1 = 4c + 2\pi d_{eff} = 4 \cdot 0,5 + 4\pi \cdot 0,259 = 5,25 \text{ m}$$

návrhové smykové napětí

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_1 d_{eff}} = \frac{1,15 \cdot 647,13}{5,25 \cdot 0,259} 10^{-3} = 0,55 \text{ MPa}$$

stupeň vyztužení

$$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{(c_x + 6d_{eff})d_x} = \frac{2872 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,259)0,267} = 5,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_y = \frac{a_{s,y}}{(c_y + 6d_{eff})d_y} = \frac{1828 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,259)0,251} = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} = \sqrt{5,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}} = 4,3 \cdot 10^{-3} < 0,02 \quad \text{OK}$$

ostatní parametry  
vstupující do výpočtu

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{259}} = 1,88$$

max. návrhová únosnost  
ve smyku bez smykové  
výztuže

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,88 (100 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} = 0,53 \text{ MPa}$$

minimální únosnost  
betonu

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,88^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,49 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,53 \text{ MPa} > v_{min} = 0,49 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,1} = 0,55 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0,53 \text{ MPa}$$

**VYHOVÍ****NEVYHOVÍ** $\Rightarrow$  nutno navrhnout smykovou  
výztužPosouzení smykové odolnosti stropu se smykovou výztuží**první kontrolovaný obvod**pevnost smyk. výztuže  
(pro návrh)

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 0,259 = 314,75 \text{ MPa}$$

radiální vzdálenost mezi  
trny

$$s_r = 0,75d_{eff} = 0,75 \cdot 259 = 194 \text{ mm}$$

volím:  $s_r = 190 \text{ mm}$ 

nutná plocha výztuže

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} a_{sw,req} f_{ywd,eff} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha \leq v_{Ed,1}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow a_{sw,req} &= \frac{v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c}}{1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} f_{ywd,eff} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha} = \\ &= \frac{0,55 - 0,75 \cdot 0,53}{1,5 \frac{0,259}{0,19} 314,75 \frac{1}{3,13 \cdot 0,259} \sin 90^\circ} = \\ &= 319 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

volím:  $\emptyset = 10 \text{ mm}$ 

skutečná plocha výztuže

$$a_{sw,1} = \pi \frac{\emptyset^2}{4} = \pi \frac{0,01^2}{4} = 79 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$



nutný počet prutů

$$n = \frac{a_{sw,req}}{a_{sw,1}} = \frac{319 \cdot 10^{-6}}{79 \cdot 10^{-6}} = 4,1 \text{ ks}$$

**volím: 12 Ø10 mm**

skutečná plocha výztuže

$$a_{sw} = n a_{sw,1} = 12 \cdot 79 \cdot 10^{-6} = 942 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

smyková únosnost se

smykovou výztuží

na prvním kontrolovaném

obvodu

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs,1} &= 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} a_{sw} f_{ywd} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha = \\ &= 0,75 \cdot 0,53 + 1,5 \frac{0,259}{0,19} 942 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \frac{1}{3,13 \cdot 0,259} \sin 90^\circ = \\ &= 1,01 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Ed,1} = 1,01 \text{ MPa} < v_{Rd,cs} = 1,60 \text{ MPa}$$

**VYHOVÍ****druhý kontrolovaný obvod**

druhý kontrolovaný obvod

$$u_2 = 4c + 2\pi d_{eff} = 4 \cdot 0,5 + 8 \pi \cdot 0,259 = 8,51 \text{ m}$$

návrhová smyková síla

$$v_{Ed,2} = 152,30 \text{ kN}$$

návrhové smykové napětí

$$v_{Ed,2} = \frac{\beta v_{Ed,2}}{u_2 d_{eff}} = \frac{1,15 \cdot 152,30}{8,51 \cdot 0,259} 10^{-3} = 0,08 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,2} = 0,08 \text{ MPa} < v_{Rd,c} = 0,53 \text{ MPa}$$

**VYHOVÍ****kontrolovaný obvod, ve kterém není požadována smyk. výztuž ( $v_{Ed,out} = v_{Rd,c}$ )**vzdálenost  $u_{out}$ 

(interpolace)

$$\begin{aligned} r &= - \frac{(2d_{eff} - 4d_{eff})(v_{Ed,1} - v_{Rd,c})}{v_{Ed,1} - v_{Ed,2}} = \\ &= - \frac{(2 \cdot 0,259 - 4 \cdot 0,259)(1,34 - 0,53)}{1,34 - 0,08} = \\ &= 0,02 \text{ m} \Rightarrow r_{out} = 2d_{eff} + r = 0,52 + 0,02 = 0,54 \text{ m} \end{aligned}$$

**Konstrukční zásady**

vzdálenost 1. řady výztuže

$$0,3 d_{eff} < x < 0,5 d_{eff}$$

$$0,3 \cdot 0,259 < x < 0,5 \cdot 0,259$$

$$0,78 \text{ m} < x < 0,13 \text{ m}$$

**volím:  $x = 0,1 \text{ m}$** 

tangenciální vzdálenosti mezi trny (maximální) – měřeno v programu AutoCAD

$$s_{t,1} = 0,35 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,2} = 0,35 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,3} = 0,47 \text{ m} > 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**NEVYHOVÍ**

$$s_{t,4} = 0,63 \text{ m} > 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**NEVYHOVÍ**

vzdálenost posledního trnu od obvodu  $u_{out}$

$$r_{out} - x - 3s_r = 0,90 - 0,1 - 3 \cdot 0,19 = 0,23 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

tangenciální vzdálenost trnů na obvodu  $u_l$

$$s_{t,u_l} = 0,51 \text{ m} > 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**NEVYHOVÍ**

minimální stupeň vyztužení

1. řada

$$\rho_{sw,1} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,1}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,14} = 44,5 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

2. řada

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,2}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,28} = 22,3 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

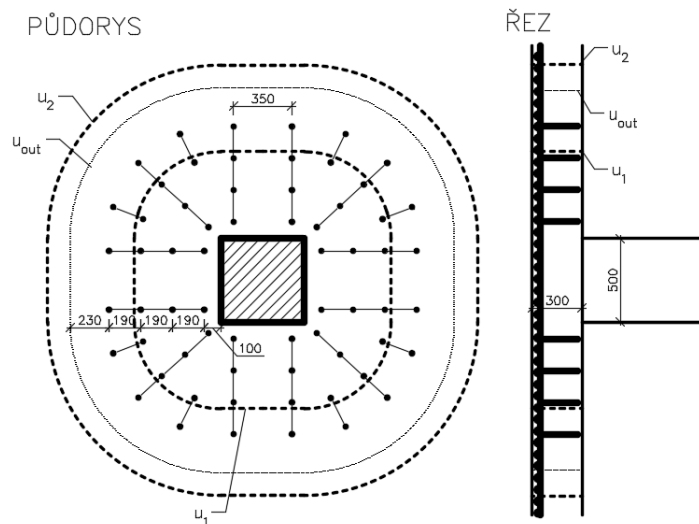
3. řada

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,2}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,21} = 29,7 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

4. řada

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,2}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,28} = 22,3 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

Aby byly splněny konstrukční zásady i ve dvou posledních řadách byly přidány smykové lišty se 2 trny (viz. Obr. 5.4). Navržené smykové lišty budou od firmy JORDAHL konkrétně 4 ks JDA-2/10/190 a 10 ks JDA-4/10/190.



Obr. 5.4: Schéma výztuže na protlačení, vnitřní sloup

**Mezní stav použitelnosti – omezení průhybu**směr x

efektivní rozpětí desky

uložení na sloupy tl. 500 mm

součinitel

stupeň vyztužení tahovou výztuží ve  
středu rozpětí

referenční stupeň vyztužení

podmínka:

$$\rho_x < \rho_0$$

**OK**

$$\Rightarrow l/d = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho_x} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right)^{3/2} \right] \frac{8,5}{l_{eff}} =$$

$$= 1,3 \left[ 11 + 1,5 \sqrt{30} \frac{5,48}{3,64} + 3,2 \sqrt{30} \left( \frac{5,48}{3,64} - 1 \right)^{3/2} \right] \frac{8,5}{10,5} = 36,0$$

maximální poměr

$$(l/d)_{\max} = 10,5 / 0,22 = 47,7$$

posouzení:

$$(l/d)_{\max} = 47,7 > l/d = 36,0$$

**VYHOVÍ** $\Rightarrow$  není nutné ověření průhybu výpočtemsměr y

efektivní rozpětí desky

uložení na nosné stěny tl. 500 mm

součinitel

stupeň vyztužení tahovou výztuží ve  
středu rozpětí

referenční stupeň vyztužení

podmínka:

$$\rho_x < \rho_0$$

**OK**

$$\Rightarrow l/d = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho_x} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right)^{3/2} \right] \frac{8,5}{l_{eff}} =$$

$$= 1,3 \left[ 11 + 1,5 \sqrt{30} \frac{5,48}{1,68} + 3,2 \sqrt{30} \left( \frac{5,48}{1,68} - 1 \right)^{3/2} \right] \frac{8,5}{18} = 59,9$$

maximální poměr

$$(l/d)_{\max} = 18 / 0,26 = 64,8$$

posouzení:

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{\max} = 64,8 > \frac{l}{d} = 59,9$$

**VYHOVÍ**

$\Rightarrow$  není nutné ověření průhybu výpočtem

### Dilatace – smykové trny

- **max. smyková síla v místě dilatace:**  $v_{Ed} = 83,68 \text{ kNm}$

návrh dle programu Schöck SLD:

22 ks smykových trnů SLD 60

vzdálenost trnu od kraje desky:  $e_1 = 0,48 \text{ m}$

vzdálenost mezi trny  $e_2 = 0,95 \text{ m}$

přídavná výztuž:

závěsná přídavná výztuž: 4 Ø12 mm

smyková výztuž: 2 Ø12 mm

třmínek na trnu: 2 Ø8 mm

přivařená výztuž: 2 Ø12 mm

přídavné třmínky: 2 Ø12 mm

### 5.1.2. Deska nad 2. NP

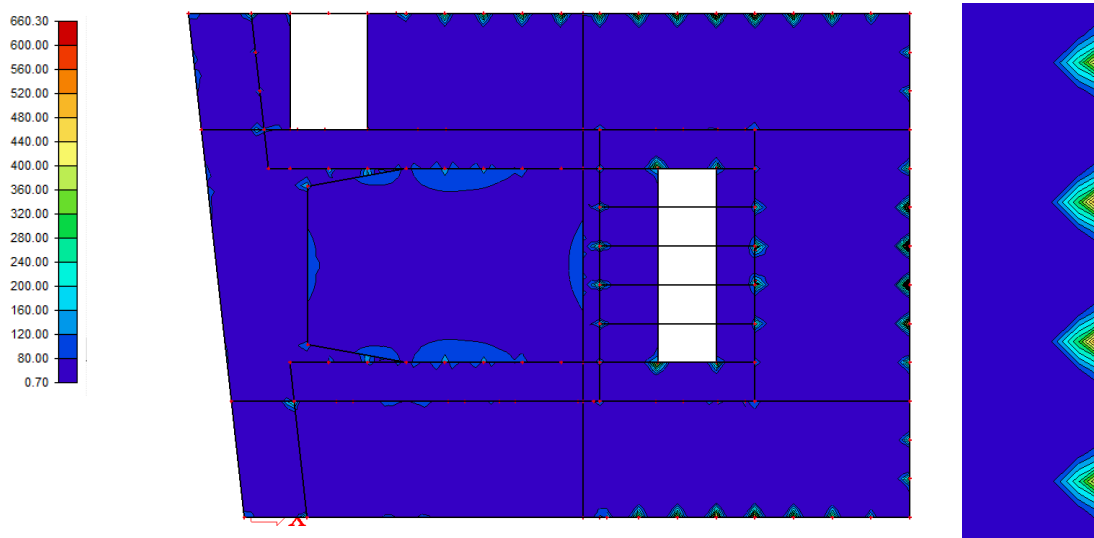
V 2.NP se nachází učebny, prostory pro volný čas, kanceláře, sociální zařízení a dvůr, kde je také největší zatížení. Společně s velkými rozměry dílčí desky se právě v této části objevuje největší průhyb. Deska je rozdělena na dva dilatační celky. Desku tvoří jednotlivé desky D9 až D16 se dvěma otvory nad dvoranou a schodišťovým prostorem (viz. výkres č. 5: Schéma konstrukčního systému).

### Vnitřní síly na desce

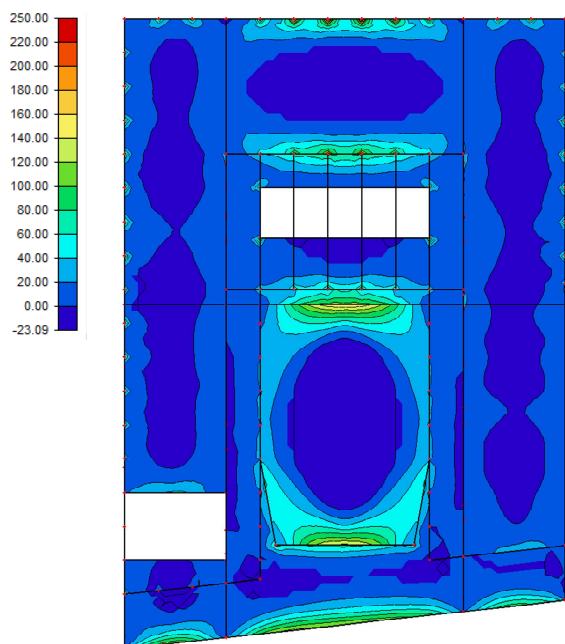
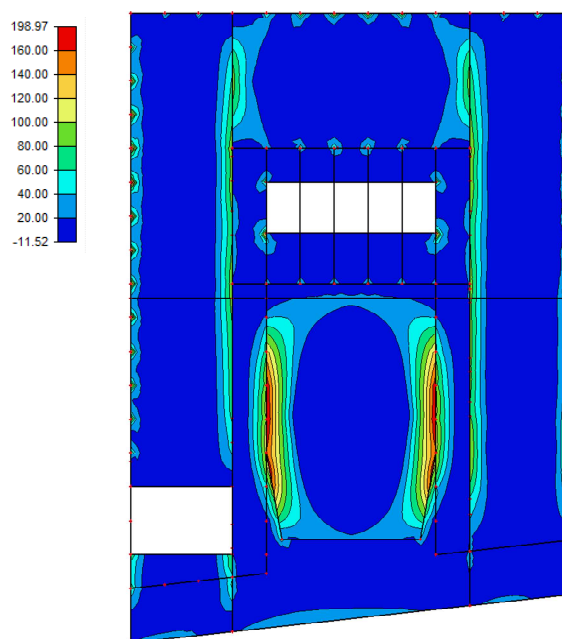
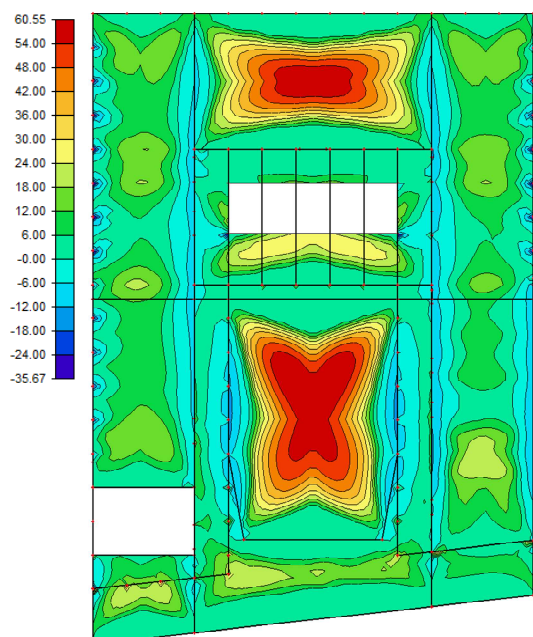
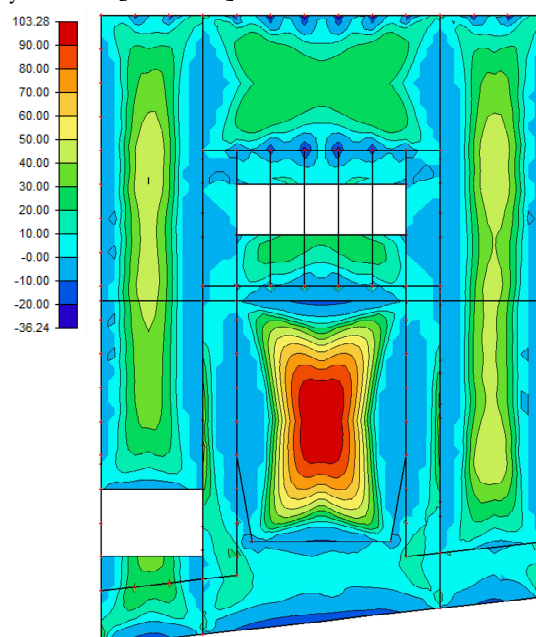
Vnitřní síly byly spočteny pomocí programu Scia engineer 15.3. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5.4 a vyobrazeny na Obr. 5.5 a Obr. 5.6. Reakce v místech podpor použité při redukci záporných momentů byly zjištěny z posouvajících sil.

Tab. 5.4: Vnitřní síly na desce nad 2. NP

ozn.	hodnota	jedn.	ozn.	hodnota	jedn.
$m_{Ed,x,1}^+$	<b>25,93</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,y,1}^+$	<b>49,13</b>	<b>kNm</b>
$m_{Ed,x,2}^+$	<b>60,54</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,y,2}^+$	<b>103,28</b>	<b>kNm</b>
$m_{Ed,x,1}^-$	-156,46	kNm	$m_{Ed,y,1}^-$	-89,96	kNm
$m_{Ed,x,sl,1}^-$	-250,00	kNm	$m_{Ed,y,sl,1}^-$	-195,28	kNm
$m_{Ed,x,stř,1}^-$	<b>-48,24</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,y,stř,1}^-$	<b>-33,28</b>	<b>kNm</b>
$m_{Ed,x,sl,2}^-$	-163,40	kNm	$m_{Ed,y,sl,2}^-$	-114,82	kNm
$m_{Ed,x,stř,2}^-$	<b>-72,78</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,y,stř,2}^-$	<b>-83,03</b>	<b>kNm</b>
$V_{Ed,1}$	660,30	kN	$V_{Ed,1}$	402,72	kN
redukce nadpodporových momentů					
tloušťka podpory: $t = 0,5 \text{ m}/0,3 \text{ m}$					
$F_{Ed,sup,x,1}$	102,59	kN	$F_{Ed,sup,y,1}$	85,13	kN
$F_{Ed,sup,x,sl,1}$	261,53	kN	$F_{Ed,sup,y,1,sl}$	258,91	kN
$F_{Ed,sup,x,sl,2}$	389,40	kN	$F_{Ed,sup,y,sl,2}$	386,22	kN
$\Delta m_{Ed,x,1}$ [ $F_{Ed,sup,x,1}$ ] · [t/8]	6,38	kNm	$\Delta m_{Ed,y,1}$ [ $F_{Ed,sup,y,1}$ ] · [t/8]	5,32	kNm
$\Delta m_{Ed,x,sl,1}$ [ $F_{Ed,sup,x,sl,1}$ ] · [t/8]	16,35	kNm	$\Delta m_{Ed,y,sl,1}$ [ $F_{Ed,sup,y,sl,1}$ ] · [t/8]	16,18	kNm
$\Delta m_{Ed,x,sl,2}$ [ $F_{Ed,sup,x,sl,2}$ ] · [t/8]	24,34	kNm	$\Delta m_{Ed,y,sl,2}$ [ $F_{Ed,sup,y,sl,2}$ ] · [t/8]	18,52	kNm
$m_{Ed,red,x,1}^-$	<b>-150,09</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,red,y,1}^-$	<b>-84,34</b>	<b>kNm</b>
$m_{Ed,red,x,sl,1}^-$	<b>-233,65</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,red,y,sl,1}^-$	<b>-179,10</b>	<b>kNm</b>
$m_{Ed,red,x,sl,2}^-$	<b>-139,06</b>	<b>kNm</b>	$m_{Ed,red,y,sl,2}^-$	<b>-96,68</b>	<b>kNm</b>

 $v_{D+} \text{ max [kNm/m]}$ 

Obr. 5.5: Dimenzační posouvající síla

$m_{xD+}$  max [kNm/m] $m_{yD+}$  max [kNm/m] $m_{xD-}$  max [kNm/m] $m_{yD-}$  max [kNm/m]

Obr. 5.6: Dimenzační ohybové momenty

### Parametry vstupující do výpočtu

V níže uvedené Tab. 5.5 jsou uvedeny parametry desky nad 2. NP a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.5: Parametry desky a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
tloušťka desky	h	300	mm
rozměry desky	$L_{x,max}$	33,0	m
	$L_{x,min}$	10,1	m
	$L_{y,max}$	46,78	m
	$L_{y,min}$	5,0	m
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku [ $f_{ck}$ ]/[ $\gamma_c$ ]	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu [ $f_{yk}$ ]/[ $\gamma_s$ ]	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

**Krytí výztuže**předpoklad:  $\varnothing = 16$  mm

minimální krycí vrstva s přihlédnutím

k požadavku soudržnosti

toleranční zvětšení

nominální krycí vrstva

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(16 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 16 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 9 = 25 \text{ mm}$$

**Mezní stav únosnosti - ohyb**

- **ohybový moment:  $m_{Ed,y,1^+} = 49,13 \text{ kNm}$**

$$m_{Ed,x,stř,1^-} = |-48,24| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř,1^-} = |-33,28| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,1^+} = 25,93 \text{ kNm}$$

Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \frac{3}{2}\varnothing = 300 - 25 - \frac{3}{2}10 = 260 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed,y}^+}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{49,13 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,26} = 483 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{483 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,162 \text{ m}$$

**navrhují:  $\varnothing 10 \text{ mm}/160 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,16} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 491 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 491 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 213,42 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{213,42 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 13,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 213,42 (0,26 - 0,4 \cdot 13,3 \cdot 10^{-3}) = 54,35 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,1^+} = 49,13 \text{ kNm} < m_{Rd} = 54,35 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř,1^-} = |-48,24| \text{ kNm} < m_{Rd} = 54,35 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř,1^-} = |-33,28| \text{ kNm} < m_{Rd} = 54,35 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,1^+} = 25,93 \text{ kNm} < m_{Rd} = 54,35 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**



- ohybový moment:  $m_{Ed,y,2^+} = 103,28 \text{ kNm}$

$$m_{Ed,red,sl,2^-} = |-96,68| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,y,1^-} = |-84,03| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř,2^-} = |-83,03| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř,2^-} = |-72,78| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,2^+} = 60,54 \text{ kNm}$$

### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \frac{3}{2}\varnothing = 300 - 25 - \frac{3}{2}10 = 260 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{103,26 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,26} = 1015 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{1015 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,077 \text{ m}$$

navrhují:  $\varnothing 10 \text{ mm}/80 \text{ mm}$

skutečná plocha výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,08} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 982 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 982 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 426,85 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{426,85 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 26,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 426,85 (0,26 - 0,4 \cdot 26,7 \cdot 10^{-3}) = 106,43 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,2^+} = 103,28 \text{ kNm} < m_{Rd} = 106,45 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,sl,2^-} = |-96,68| \text{ kNm} < m_{Rd} = 106,45 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,y,1^-} = |-84,03| \text{ kNm} < m_{Rd} = 106,45 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,stř,2^-} = |-83,03| \text{ kNm} < m_{Rd} = 106,45 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř,2^-} = |-72,78| \text{ kNm} < m_{Rd} = 106,45 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,2^+} = 60,54 \text{ kNm} < m_{Rd} = 106,45 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**

- **ohybový moment:**  $m_{Ed,red,x,sl,1^-} = |-233,65| \text{ kNm}$

$$m_{Ed,red,y,sl,1^-} = |-179,10| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,x,1^-} = |-150,09| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,sl,2^-} = |-139,06| \text{ kNm}$$

### Návrh

předpoklad:  $\emptyset = 10$

mm

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \emptyset - \frac{\emptyset}{2} = 300 - 25 - 10 - \frac{16}{2} = 257 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{233,65 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,257} = 2323 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \emptyset^2}{4} = \frac{1}{2323 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,087 \text{ m}$$

**navrhují:  $\emptyset 16 \text{ mm}/80 \text{ mm}$**

skutečná plocha

výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \emptyset^2}{4} = \frac{1}{0,08} \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 2513 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 2513 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 1092,73 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1092,73 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 68,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti

průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 1092,73 (0,257 - 0,4 \cdot 68,3 \cdot 10^{-3}) = 250,98 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,x,sl,1^-} = |-233,65| \text{ kNm} < m_{Rd} = 250,98 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,y,sl,1^-} = |-179,10| \text{ kNm} < m_{Rd} = 250,98 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,x,1^-} = |-150,09| \text{ kNm} < m_{Rd} = 250,98 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,sl,2^-} = |-139,06| \text{ kNm} < m_{Rd} = 250,98 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**

- **konstrukční zásady**

omezení množství výztuže

$$a_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x \\ 0,0013 b \cdot d_x \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \frac{2,9}{500} 1 \cdot 0,257 \\ 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,257 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 388 \cdot 10^{-6} \\ 334 \cdot 10^{-6} \end{array} \right\} = 388 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,\max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,3 = 12000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,\min} = 388 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 491 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

$$a_{s,\max} = 12000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 2513 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0683}{0,257} = 0,266 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

VYHOVÍ

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{\max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 300; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 250 \text{ mm} > s_{y,I} = 160 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

minimální světlá vzdálenost

$$s_{\min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 80 - 16 = 64 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- **Kotevní délka**

pro  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ :návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{10 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 362,5 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 362,5 = 362,5 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 370 \text{ mm}$** 

minimální kotevní délka

$$l_{b,\min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 362,5; 10 \cdot 10; 100 \text{ mm}) = 108,75 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 370 \text{ mm} > l_{b,\min} = 108 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

pro  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ :návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka  $l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \frac{435}{3} = 580 \text{ mm}$

kotevní délka  $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = 580 \text{ mm}$

**volím:  $l_{bd} = 580 \text{ mm}$**

minimální kotevní délka  $l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 580, 5; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = 174 \text{ mm}$

**$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 174 \text{ mm}$  VYHOVÍ**

- shrnutí**

Pro přehlednost navrhnutých výztuží na ohyb jsou údaje upořádané v *Tab. 5.6*.

*Tab. 5.6: Výztuž na ohyb*

ozn.	hodnota	jednotka	výztuž	posudek
$m_{Ed,x,1}^+$	25,93	kNm	$\varnothing 10/160$	VYHOVÍ
$m_{Ed,y,stř,1}^-$	-33,28	kNm		
$m_{Ed,x,stř,1}^-$	-48,24	kNm		
$m_{Ed,x,1}^-$	-49,13	kNm		
$m_{Ed,x,2}^+$	60,54	kNm	$\varnothing 10/80$	VYHOVÍ
$m_{Ed,x,stř,2}^-$	-72,78	kNm		
$m_{Ed,y,stř,2}^-$	-83,03	kNm		
$m_{Ed,red,y,1}^-$	-84,03	kNm		
$m_{Ed,red,y,sl,2}^-$	-96,68	kNm		
$m_{Ed,y,2}^+$	103,28	kNm		
$m_{Ed,red,x,sl,2}^-$	-139,06	kNm	$\varnothing 16/80$	VYHOVÍ
$m_{Ed,red,x,1}^-$	-150,09	kNm		
$m_{Ed,red,y,sl,1}^-$	-179,10	kNm		
$m_{Ed,red,x,sl,1}^-$	-233,65	kNm		

### Mezní stav únosnosti – smyk

- posouvající síla  $v_{Ed} = 660,30 \text{ kN}$ , krajní sloup**

efektivní výška průřezu:

$$d_x = 267 \text{ mm}$$

$$d_y = 254 \text{ mm}$$

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{267 + 254}{2} = 261 \text{ mm}$$

Posouzení odolnosti stropní desky proti rozdrčení tlakových diagonál (na obvodu sloupu)

nultý kontrolovaný obvod	$u_0 = 3c = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ m}$
max. návrhové smykové napětí	$v_{Ed,0} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_0 d_{eff}} = \frac{1,4 \cdot 660,30}{1,5 \cdot 0,261} 10^{-3} = 2,36 \text{ MPa}$
redukční součinitel	$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528 \text{ MPa}$
maximální únosnost betonu při protlačení na obvodu sloupu	$v_{Rd,max} = v f_{cd} = 0,528 \cdot 20 = 10,56 \text{ MPa}$
<b><math>v_{Ed,0} = 2,36 \text{ MPa} &lt; v_{Rd,max} = 10,56 \text{ MPa}</math> VYHOVÍ</b>	

Posouzení smykové odolnosti stropu bez smykové výztuže

první kontrolovaný obvod	$u_1 = 3c + 2\pi d_{eff} = 3 \cdot 0,5 + 2\pi \cdot 0,261 = 3,14 \text{ m}$
návrhové smykové napětí	$v_{Ed,1} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_1 d_{eff}} = \frac{1,4 \cdot 660,30}{3,14 \cdot 0,261} 10^{-3} = 1,13 \text{ MPa}$
stupeň vyztužení	$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{(c_x + 6d_{eff})d_x} = \frac{2513 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,261)0,267} = 4,6 \cdot 10^{-3}$ $\rho_y = \frac{a_{s,y}}{(c_y + 6d_{eff})d_y} = \frac{982 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,261)0,254} = 1,9 \cdot 10^{-3}$ $\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} = \sqrt{4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,9 \cdot 10^{-3}} = 2,9 \cdot 10^{-3} < 0,02 \quad \text{OK}$
ostatní parametry vstupující do výpočtu	$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{261}} = 1,88$
max. návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže	$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,88 (100 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} = 0,46 \text{ MPa}$
minimální únosnost betonu	$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,88^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,49 \text{ MPa}$
<b><math>v_{Rd,c} = 0,46 \text{ MPa} &gt; v_{min} = 0,49 \text{ MPa}</math></b>	
<b><math>v_{Ed,1} = 1,13 \text{ MPa} &lt; v_{Rd,c} = 0,49 \text{ MPa}</math></b>	
<b>NEVYHOVÍ <math>\Rightarrow v_{Rd,c} = 0,49 \text{ MPa}</math></b>	
<b>NEVYHOVÍ</b>	
$\Rightarrow$ nutno navrhnout smykovou výztuž	

Posouzení smykové odolnosti stropu se smykovou výztuží**první kontrolovaný obvod**

pevnost smyk. výztuže  
(pro návrh)

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 0,261 = 315,13 \text{ MPa}$$

radiální vzdálenost mezi  
trny

$$s_r = 0,75d_{eff} = 0,75 \cdot 261 = 195 \text{ mm}$$

volím:  $s_r = 190 \text{ mm}$

nutná plocha výztuže

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} a_{sw,req} f_{ywd,eff} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha \leq v_{Ed,1}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow a_{sw,req} &= \frac{v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c}}{1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} f_{ywd,eff} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha} = \\ &= \frac{1,13 - 0,75 \cdot 0,49}{1,5 \frac{0,261}{0,19} 315,13 \frac{1}{3,14 \cdot 0,261} \sin 90^\circ} = \\ &= 961 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

volím:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

skutečná plocha výztuže

$$a_{sw,1} = \pi \frac{\varnothing^2}{4} = \pi \frac{0,01^2}{4} = 79 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n = \frac{a_{sw,req}}{a_{sw,1}} = \frac{961 \cdot 10^{-6}}{79 \cdot 10^{-6}} = 12,2 \text{ ks}$$

**volím: 11  $\varnothing 10 \text{ mm}$** 

skutečná plocha výztuže

$$a_{sw} = n a_{sw,1} = 11 \cdot 79 \cdot 10^{-6} = 864 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

smyková únosnost se

smykovou výztuží

na prvním kontrolovaném

obvodě

$$\begin{aligned} v_{Rd,cs,1} &= 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} a_{sw} f_{ywd} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha = \\ &= 0,75 \cdot 0,49 + 1,5 \frac{0,261}{0,19} 864 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \frac{1}{3,14 \cdot 0,261} \sin 90^\circ = \\ &= 1,31 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Ed,1} = 1,13 \text{ MPa} < v_{Rd,cs} = 1,31 \text{ MPa}$$

**VYHOVÍ****druhý kontrolovaný obvod**

druhý kontrolovaný obvod

$$u_2 = 3c + 2\pi d_{eff} = 3 \cdot 0,5 + 4 \pi \cdot 0,261 = 4,77 \text{ m}$$

návrhová smyková síla

$$v_{Ed,2} = 195,94 \text{ kN}$$

návrhové smykové napětí

$$v_{Ed,2} = \frac{\beta v_{Ed,2}}{u_2 d_{eff}} = \frac{1,4 \cdot 195,94}{4,77 \cdot 0,261} 10^{-3} = 0,22 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,2} = 0,22 \text{ MPa} < v_{Rd,c} = 0,49 \text{ MPa}$$

**VYHOVÍ**

**kontrolovaný obvod, ve kterém není požadována smyk. výztuž** ( $v_{Ed,out} = v_{Rd,c}$ )

vzdálenost  $u_{out}$   
(interpolace)

$$r = - \frac{(2d_{eff} - 4d_{eff})(v_{Ed,1} - v_{Rd,c})}{v_{Ed,1} - v_{Ed,2}} =$$

$$= - \frac{(2 \cdot 0,261 - 4 \cdot 0,261)(1,13 - 0,49)}{1,13 - 0,33} =$$

$$= 0,37 \text{ m} \Rightarrow r_{out} = 2d_{eff} + r = 0,52 + 0,37 = 0,89 \text{ m}$$

### Konstrukční zásady

vzdálenost 1. řady výztuže

$$0,3 d_{eff} < x < 0,5 d_{eff}$$

$$0,3 \cdot 0,261 < x < 0,5 \cdot 0,261$$

$$0,78 \text{ m} < x < 0,13 \text{ m}$$

**volím:  $x = 0,1 \text{ m}$**

tangenciální vzdálenosti mezi trny (maximální) – měřeno v programu AutoCAD

$$s_{t,1} = 0,17 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,2} = 0,30 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,3} = 0,22 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,2} = 0,29 \text{ m} < 2d_{eff} = 0,522 \text{ m (za hranicí } u_I)$$

**VYHOVÍ**

vzdálenost posledního trnu od obvodu  $u_{out}$

$$r_{out} - x - 3s_r = 0,89 - 0,1 - 3 \cdot 0,19 = 0,22 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

tangenciální vzdálenost trnů na obvodu  $u_I$

$$s_{t,u_I} = 0,23 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,39 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

minimální stupeň vyztužení

1. řada

$$\rho_{sw,1} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,1}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,17} = 36,7 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

2. řada

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,2}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,30} = 20,8 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

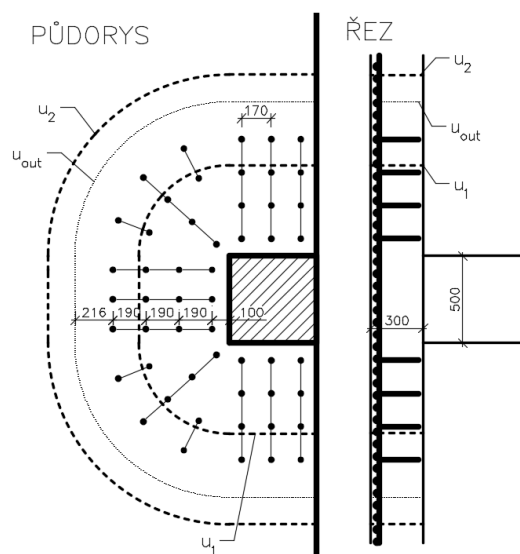
3. řada

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,2}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,22} = 28,3 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

4. řada

$$\rho_{sw,2} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,2}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,19 \cdot 0,29} = 21,5 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

Aby byly splněny konstrukční zásady i ve dvou posledních řadách byly přidány smykové lišty se 2 trny (viz. Obr. 5.7). Navržené smykové lišty budou od firmy JORDAHL konkrétně 4 ks JDA-2/10/190 a 11 ks JDA-4/10/190.



Obr. 5.7: Schéma výztuže na protlačení

- posouvající síla  $v_{Ed} = 402,72$  kN, vnitřní sloup

efektivní výška průřezu:

$$d_x = 267 \text{ mm}$$

$$d_y = 251 \text{ mm}$$

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{267 + 251}{2} = 259 \text{ mm}$$

#### Posouzení odolnosti stropní desky proti rozdrčení tlakových diagonál (na obvodu sloupu)

nultý kontrolovaný obvod

$$u_0 = 4c = 4 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ m}$$

max. návrhové smykové  
napětí

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_0 d_{eff}} = \frac{1,15 \cdot 402,72}{2,0 \cdot 0,259} 10^{-3} = 0,89 \text{ MPa}$$

redukční součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528 \text{ MPa}$$

maximální únosnost betonu  
při protlačení na obvodu  
sloupu

$$v_{Rd,max} = v f_{cd} = 0,528 \cdot 20 = 10,56 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,0} = 0,89 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 10,56 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$



Posouzení smykové odolnosti stropu bez smykové výztuže

první kontrolovaný obvod	$u_1 = 4c + 2\pi d_{eff} = 4 \cdot 0,5 + 4\pi \cdot 0,259 = 5,25 \text{ m}$	
návrhové smykové napětí	$v_{Ed,1} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_1 d_{eff}} = \frac{1,15 \cdot 402,72}{5,25 \cdot 0,259} 10^{-3} = 0,34 \text{ MPa}$	
stupeň vyztužení	$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{(c_x + 6d_{eff})d_x} = \frac{2872 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,259)0,267} = 5,2 \cdot 10^{-3}$	
	$\rho_y = \frac{a_{s,y}}{(c_y + 6d_{eff})d_y} = \frac{1828 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,259)0,251} = 3,5 \cdot 10^{-3}$	
	$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} = \sqrt{5,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}} = 4,3 \cdot 10^{-3} < 0,02$	<b>OK</b>
ostatní parametry vstupující do výpočtu	$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$	
	$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{259}} = 1,88$	
max. návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže	$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,88 (100 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} = 0,53 \text{ MPa}$	
minimální únosnost betonu	$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,88^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,49 \text{ MPa}$	
	<b><math>v_{Rd,c} = 0,53 \text{ MPa} &gt; v_{min} = 0,49 \text{ MPa}</math></b>	<b>VYHOVÍ</b>
	<b><math>v_{Ed,1} = 0,34 \text{ MPa} &lt; v_{Rd,c} = 0,53 \text{ MPa}</math></b>	<b>VYHOVÍ</b>

**Mezní stav použitelnosti – omezení průhybu**směr x

efektivní rozpětí desky	$l_{eff} = 10 + 2 \cdot 0,25 = 10,5 \text{ m}$	
uložení na sloupy tl. 500 mm		
součinitel	$K = 1,3$	
stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí	$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{b d_x} = \frac{982 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,27} = 3,64 \cdot 10^{-3}$	
referenční stupeň vyztužení	$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$	
podmínka:		
$\rho_x < \rho_0$		<b>OK</b>
$\Rightarrow l/d = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho_x} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right)^{3/2} \right] \frac{8,5}{l_{eff}} =$ $= 1,3 \left[ 11 + 1,5 \sqrt{30} \frac{5,48}{3,64} + 3,2 \sqrt{30} \left( \frac{5,48}{3,64} - 1 \right)^{3/2} \right] \frac{8,5}{10,5} = 36,0$		

maximální poměr

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{\max} = 10,5 / 0,22 = 47,7$$

posouzení:

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{\max} = 47,7 > l/d = 36,0$$

**VYHOVÍ** $\Rightarrow$  není nutné ověření průhybu výpočtemsměr y

efektivní rozpětí desky

$$l_{\text{eff}} = 17,5 + 2 \cdot 0,25 = 18 \text{ m}$$

uložení na nosné stěny tl. 500 mm

součinitel

$$K = 1,3$$

stupeň vyztužení tahovou výztuží ve  
středu rozpětí

$$\rho_y = \frac{a_{s,y}}{b d_y} = \frac{436 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,21} = 1,68 \cdot 10^{-3}$$

referenční stupeň vyztužení

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

podmínka:

$$\rho_x < \rho_0$$

**OK**

$$\Rightarrow l/d = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho_x} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right)^{3/2} \right] \frac{8,5}{l_{\text{eff}}} =$$

$$= 1,3 \left[ 11 + 1,5 \sqrt{30} \frac{5,48}{1,68} + 3,2 \sqrt{30} \left( \frac{5,48}{1,68} - 1 \right)^{3/2} \right] \frac{8,5}{18} = 59,9$$

maximální poměr

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{\max} = 18 / 0,26 = 64,8$$

posouzení:

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{\max} = 64,8 > l/d = 59,9$$

**VYHOVÍ** $\Rightarrow$  není nutné ověření průhybu výpočtem**Dilatace – smykové trny**

- max. smyková síla v místě dilatace:  $v_{Ed} = 108,10 \text{ kNm}$**

návrh dle programu Schöck SLD:

43 ks smykových trnů SLD 60

vzdálenost trnu od kraje desky:  $e_1 = 0,54 \text{ m}$ vzdálenost mezi trny  $e_2 = 0,76 \text{ m}$ 

přídavná výztuž:

závěsná přídavná výztuž: 6 Ø12 mm

smyková výztuž: 4 Ø12 mm

třmínek na trnu: 2 Ø8 mm

přivařená výztuž: 2 Ø12 mm

přídavné třmínky: 2 Ø12 mm

### 5.1.3. Deska ploché střechy

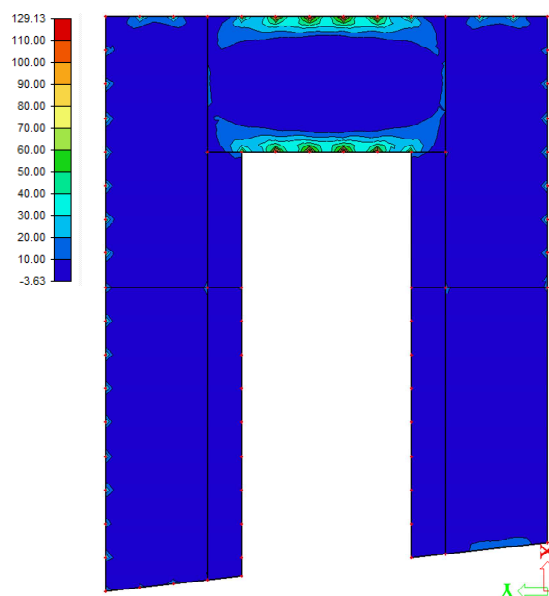
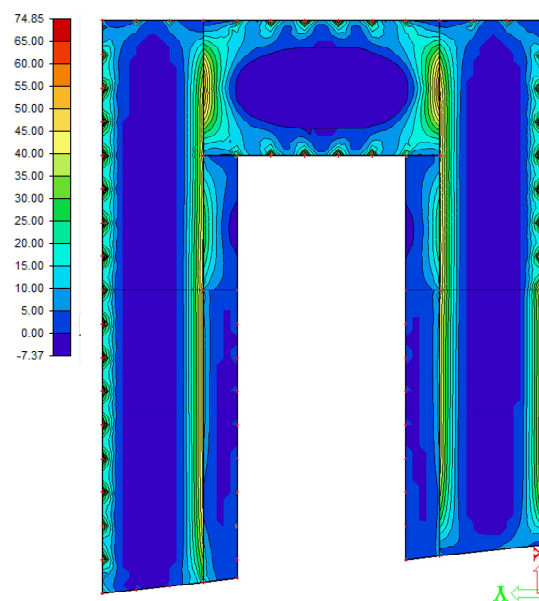
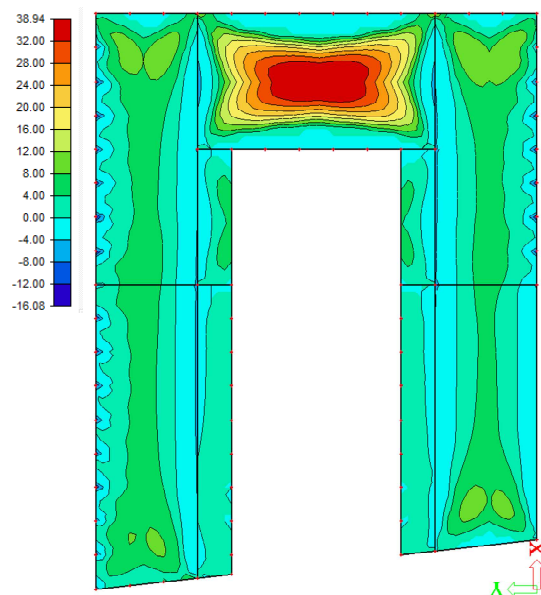
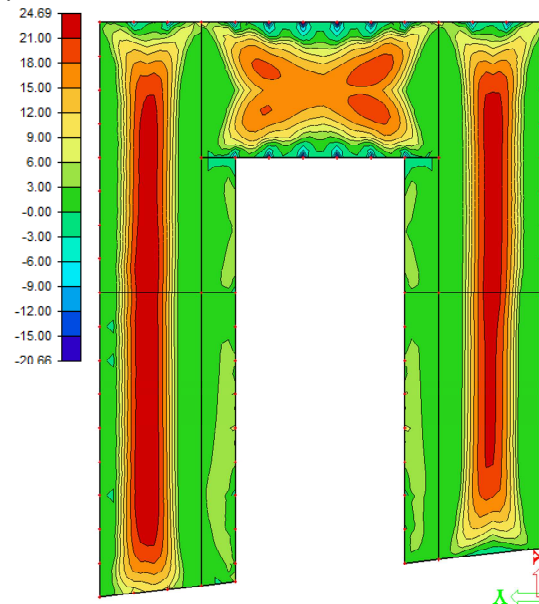
Deska tvoří nosnou konstrukci nepochozí ploché střechy, kde je dominantním zatížením sních. Vzhledem k relativně malým hodnotám zatížení si můžeme dovolit snížit tloušťku desky na 200 mm oproti deskám nad 1. a 2. NP.

#### Vnitřní síly na desce

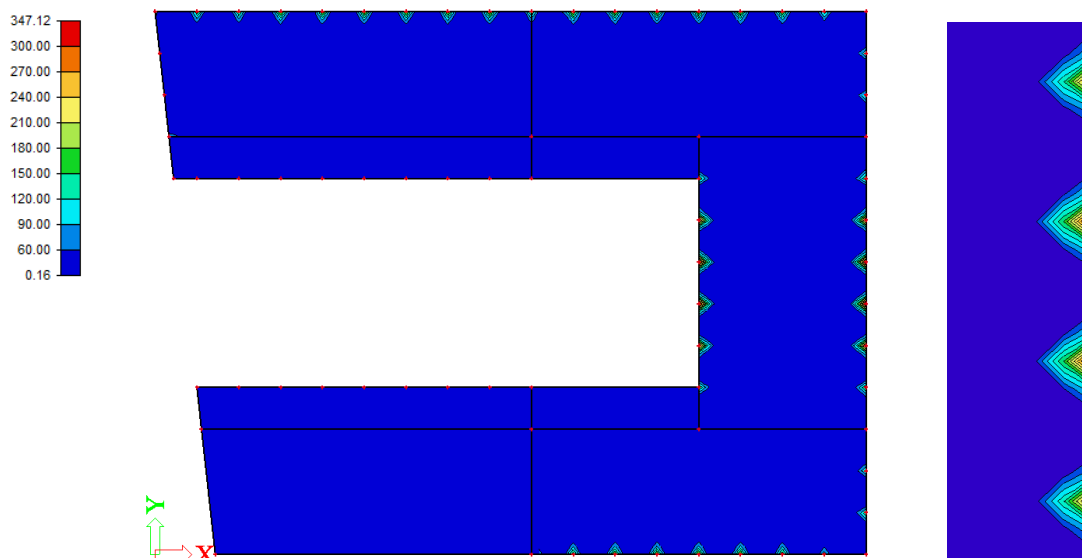
Vnitřní síly byly spočteny pomocí programu Scia engineer 15.3. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v *Tab. 5.7* a vyobrazeny na *Obr. 5.8* a *Obr. 5.9*. Reakce v místech podpor použité při redukci záporných momentů byly zjištěny z posouvajících sil.

*Tab. 5.7: Vnitřní síly na desce ploché střechy*

ozn.	hodnota	jedn.	ozn.	hodnota	jedn.
$m_{Ed,x,1}^+$	<b>9,34</b>	kNm	$m_{Ed,y,1}^+$	<b>24,69</b>	kNm
$m_{Ed,x,2}^+$	<b>38,94</b>	kNm	$m_{Ed,y,2}^+$	<b>17,54</b>	kNm
$m_{Ed,x,1}^-$	<b>-21,15</b>	kNm	$m_{Ed,y,1}^-$	<b>-48,37</b>	kNm
$m_{Ed,x,sl,1}^-$	-129,13	kNm	$m_{Ed,y,sl,1}^-$	-74,85	kNm
$m_{Ed,x,stř,1}^-$	<b>-39,27</b>	kNm	$m_{Ed,y,stř,1}^-$	<b>-20,46</b>	kNm
$m_{Ed,x,sl,2}^-$	<b>-44,43</b>	kNm	$m_{Ed,y,sl,2}^-$	-59,31	kNm
$V_{Ed,1}$	347,12	kN			
redukce nadpodporových momentů					
tloušťka podpory: $t = 0,5$ m					
$F_{Ed,sup,x,sl,1}$	269,40	kN	$F_{Ed,sup,y,1,sl}$	72,97	kN
$\Delta m_{Ed,x,sl,1}$ [ $F_{Ed,sup,x,sl,1}$ ] · [t/8]	16,84	kNm	$\Delta m_{Ed,y,sl,1}$ [ $F_{Ed,sup,y,sl,1}$ ] · [t/8]	4,56	kNm
$m_{Ed,red,x,sl,1}^-$	<b>-112,29</b>	kNm	$m_{Ed,red,y,sl,1}^-$	<b>-70,28</b>	kNm

$m_{xD+}$  max [kNm/m] $m_{yD+}$  max [kNm/m] $m_{xD-}$  max [kNm/m] $m_{yD-}$  max [kNm/m]

Obr. 5.8: Dimenzační ohybové momenty

$v_{D+} \max$  [kNm/m]

Obr. 5.9: Dimenzační posouvající síla

**Parametry vstupující do výpočtu**

V níže uvedené Tab. 5.8 jsou uvedeny parametry desky nad 2. NP a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.8: Parametry desky a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
tloušťka desky	$h$	200	mm
rozměry desky	$L_{x,max}$	33,0	m
	$L_{x,min}$	2,5	m
	$L_{y,max}$	42,5	m
	$L_{y,min}$	10,0	m
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku [ $f_{ck}$ ]/[ $\gamma_c$ ]	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa

název	označení	hodnota	jednotka
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu [ $f_{yk}$ ]/[ $\gamma_s$ ]	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

### Krytí výztuže

předpoklad:  $\varnothing = 16$  mm

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(16 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 16 \text{ mm}$$

toleranční zvětšení

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$$

nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 9 = 25 \text{ mm}$$

### Mezní stav únosnosti - ohyb

- ohybový moment:  $m_{Ed,y,1^+} = 24,69 \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,x,1^-} = |-21,15| \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,y,stř,1^-} = |-20,46| \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,y,2^+} = 17,54 \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,x,1^+} = 9,34 \text{ kNm}$

### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10$  mm

účinná výška průřezu

$$d_{min} = h - c_{nom} - \varnothing - \frac{\varnothing}{2} = 200 - 25 - 16 - \frac{10}{2} = 154 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{24,69 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,154} = 410 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{410 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,192 \text{ m}$$

**navrhují:  $\varnothing 10$  mm/180 mm**

skutečná plocha výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,18} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 436 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži  $F_s = a_s f_{yd} = 436 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 189,71 \text{ kN}$

výška tlačené oblasti  $x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{189,71 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 11,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

moment únosnosti průřezu  $m_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 189,71 (0,154 - 0,4 \cdot 11,9 \cdot 10^{-3}) = 28,32 \text{ kNm}$

$m_{Ed,y,1^+} = 24,69 \text{ kNm} < m_{Rd} = 28,32 \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,x,1^-} = |-21,15| \text{ kNm} < m_{Rd} = 28,32 \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,y,stř,1^-} = |-20,46| \text{ kNm} < m_{Rd} = 28,32 \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,y,2^+} = 17,54 \text{ kNm} < m_{Rd} = 28,32 \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,x,1^+} = 9,34 \text{ kNm} < m_{Rd} = 28,32 \text{ kNm}$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**

- ohybový moment:  $m_{Ed,y,sl,1^-} = |-59,31| \text{ kNm}$

$m_{Ed,y,1^-} = |-48,37| \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,x,sl,2^-} = |-44,43| \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,x,stř,1^-} = |-39,27| \text{ kNm}$   
 $m_{Ed,x,2^+} = 38,94 \text{ kNm}$

Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$   
účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \frac{3}{2}\varnothing = 200 - 25 - \frac{3}{2}10 = 160 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{59,31 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,16} = 947 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{947 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,083 \text{ m}$$

**navrhuji:  $\varnothing 10 \text{ mm}/80 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,08} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 982 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži  $F_s = a_s f_{yd} = 982 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 426,85 \text{ kN}$

výška tlačené oblasti  $x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{426,85 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 26,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 426,85(0,16 - 0,4 \cdot 26,7 \cdot 10^{-3}) = 63,74 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl,1^-} = |-59,31| \text{ kNm} < m_{Rd} = 63,74 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,1^-} = |-48,37| \text{ kNm} < m_{Rd} = 63,74 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,sl,2^-} = |-44,43| \text{ kNm} < m_{Rd} = 63,74 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,stř,1^-} = |-39,27| \text{ kNm} < m_{Rd} = 63,74 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,2^+} = 38,94 \text{ kNm} < m_{Rd} = 63,74 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ  
VYHOVÍ  
VYHOVÍ  
VYHOVÍ  
VYHOVÍ

- ohybový moment:  $m_{Ed,red,x,1^-} = |-112,29| \text{ kNm}$

$$m_{Ed,red,y,1^-} = |-70,28| \text{ kNm}$$

### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_x = h - c_{nom} - \frac{\varnothing}{2} = 200 - 25 - \frac{16}{2} = 167 \text{ mm}$$

$$d_y = h - c_{nom} - \varnothing - \frac{\varnothing}{2} = 200 - 25 - 10 - \frac{16}{2} = 157 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{112,29 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,157} = 1828 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{1828 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,11 \text{ m}$$

navrhují:  $\varnothing 10 \text{ mm}/110 \text{ mm}$

skutečná plocha  
výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,11} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 1828 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 1828 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 794,71 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{794,71 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 49,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd,x} = F_s (d_x - 0,4x) = 794,71(0,167 - 0,4 \cdot 49,7 \cdot 10^{-3}) = 116,92 \text{ kNm}$$

$$m_{Rd,y} = F_s (d_y - 0,4x) = 794,71(0,157 - 0,4 \cdot 49,7 \cdot 10^{-3}) = 108,98 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,x,1^-} = |-112,29| \text{ kNm} < m_{Rd,x} = 116,92 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,red,y,1^-} = |-70,28| \text{ kNm} < m_{Rd,y} = 108,98 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ  
VYHOVÍ



- **konstrukční zásady**

omezení množství výztuže

$$a_{s,\min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x \right\} = \max \left\{ 0,26 \frac{2,9}{500} 1 \cdot 0,154 \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 232 \cdot 10^{-6} \\ 200 \cdot 10^{-6} \end{matrix} \right\} = 232 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,\max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,2 = 8000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,\min} = 232 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 436 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVÍ**

$$a_{s,\max} = 8000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 1828 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0497}{0,167} = 0,298 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617 \quad \text{VYHOVÍ}$$

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{\max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 300; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 250 \text{ mm} > s_{y,I} = 180 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

minimální světlá vzdálenost

$$s_{\min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 80 - 16 = 64 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

- **Kotevní délka**

pro  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ :

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \frac{435}{3} = 362,5 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 362,5 = 362,5 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 370 \text{ mm}$**

$$\begin{aligned}
 \text{minimální kotevní délka} \quad l_{b,\min} &= \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \\
 &= \max(0,3 \cdot 362,5; 10 \cdot 10; 100 \text{ mm}) = 108,75 \text{ mm} \\
 l_{bd} &= 370 \text{ mm} > l_{b,\min} = 108 \text{ mm} \quad \textbf{VYHOVÍ}
 \end{aligned}$$

pro  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ :

$$\begin{aligned}
 \text{návrhová pevnost betonu} \quad f_{ctd} &= \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa} \\
 \text{v tahu}
 \end{aligned}$$

$$\text{návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti} \quad f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

$$\text{základní kotevní délka} \quad l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{16 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 580 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{kotevní délka} \quad l_{bd} &= \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = \\
 &= 580 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**volím:  $l_{bd} = 580 \text{ mm}$**

$$\begin{aligned}
 \text{minimální kotevní délka} \quad l_{b,\min} &= \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \\
 &= \max(0,3 \cdot 580,5; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = 174 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,\min} = 174 \text{ mm} \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

- shrnutí**

Pro přehlednost navrhnutých výztuží na ohyb jsou údaje upořádané v *Tab. 5.9*.

*Tab. 5.9: Výztuž na ohyb*

ozn.	hodnota	jednotka	výztuž	posudek
$m_{Ed,x,1}^+$	9,34	kNm	$\varnothing 10/180$	VYHOVÍ
$m_{Ed,y,2}^+$	17,54	kNm		
$m_{Ed,x,stř,1}^-$	-20,46	kNm		
$m_{Ed,x,1}^-$	-21,15	kNm		
$m_{Ed,y,1}^+$	24,69	kNm		
$m_{Ed,x,2}^+$	38,94	kNm	$\varnothing 10/80$	VYHOVÍ
$m_{Ed,x,stř,1}^-$	-39,27	kNm		
$m_{Ed,y,sl,2}^-$	-44,43	kNm		
$m_{Ed,y,1}^-$	-48,37	kNm		
$m_{Ed,x,sl,2}^-$	-59,31	kNm		
$m_{Ed,red,x,sl,1}^-$	-70,28	kNm	$\varnothing 16/80$	VYHOVÍ
$m_{Ed,red,y,sl,1}^-$	-112,29	kNm		

**Mezní stav únosnosti – smyk**

- **posouvající síla  $v_{Ed} = 347,12$  kN, krajní sloup**

efektivní výška průřezu:

$$d_x = 167 \text{ mm}$$

$$d_y = 154 \text{ mm}$$

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{167 + 154}{2} = 161 \text{ mm}$$

Posouzení odolnosti stropní desky proti rozdrčení tlakových diagonál (na obvodu sloupu)

nultý kontrolovaný obvod

$$u_0 = 3c = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ m}$$

max. návrhové smykové  
napětí

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_0 d_{eff}} = \frac{1,4 \cdot 347,12}{1,5 \cdot 0,161} 10^{-3} = 2,02 \text{ MPa}$$

redukční součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528 \text{ MPa}$$

maximální únosnost betonu  
při protlačení na obvodu  
sloupu

$$v_{Rd,max} = v f_{cd} = 0,528 \cdot 20 = 10,56 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,0} = 2,02 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 10,56 \text{ MPa} \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení smykové odolnosti stropu bez smykové výztuže

první kontrolovaný obvod

$$u_1 = 3c + 2\pi d_{eff} = 3 \cdot 0,5 + 2\pi \cdot 0,161 = 2,51 \text{ m}$$

návrhové smykové napětí

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_1 d_{eff}} = \frac{1,4 \cdot 347,12}{2,51 \cdot 0,161} 10^{-3} = 1,21 \text{ MPa}$$

stupeň vyztužení

$$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{(c_x + 6d_{eff})d_x} = \frac{1828 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,161)0,167} = 7,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_y = \frac{a_{s,y}}{(c_y + 6d_{eff})d_y} = \frac{982 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,161)0,154} = 4,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} = \sqrt{7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4,4 \cdot 10^{-3}} = 5,7 \cdot 10^{-3} < 0,02 \quad \textbf{OK}$$

ostatní parametry  
vstupující do výpočtu

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{161}} = 2,12$$

max. návrhová únosnost  
ve smyku bez smykové  
výztuže

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 2,12 (100 \cdot 5,7 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} = 0,65 \text{ MPa}$$

minimální únosnost  
betonu

$$v_{\min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2,12^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,59 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,65 \text{ MPa} > v_{\min} = 0,59 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,1} = 1,21 \text{ MPa} < v_{Rd,c} = 0,65 \text{ MPa}$$

**NEVYHOVÍ**  $\Rightarrow v_{Rd,c} = 0,49 \text{ MPa}$   
**NEVYHOVÍ**

$\Rightarrow$  nutno navrhnout smykovou  
výztuž

### Posouzení smykové odolnosti stropu se smykovou výztuží

#### **první kontrolovaný obvod**

pevnost smyk. výztuže  
(pro návrh)

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25d_{eff} = 250 + 0,25 \cdot 0,161 = 290,13 \text{ MPa}$$

radiální vzdálenost mezi  
trny

$$s_r = 0,75d_{eff} = 0,75 \cdot 161 = 120 \text{ mm}$$

volím:  $s_r = 120 \text{ mm}$

nutná plocha výztuže

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} a_{sw,req} f_{ywd,eff} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha \leq v_{Ed,1}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow a_{sw,req} &= \frac{v_{Ed,1} - 0,75 v_{Rd,c}}{1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} f_{ywd,eff} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha} = \\ &= \frac{1,21 - 0,75 \cdot 0,65}{1,5 \frac{0,161}{0,12} 290,13 \frac{1}{2,51 \cdot 0,161} \sin 90^\circ} = \\ &= 495 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

volím:  $\emptyset = 10 \text{ mm}$

skutečná plocha výztuže

$$a_{sw,1} = \pi \frac{\emptyset^2}{4} = \pi \frac{0,01^2}{4} = 79 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n = \frac{a_{sw,req}}{a_{sw,1}} = \frac{495 \cdot 10^{-6}}{79 \cdot 10^{-6}} = 6,3 \text{ ks}$$

**volím: 8  $\emptyset 10 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$a_{sw} = n a_{sw,1} = 8 \cdot 79 \cdot 10^{-6} = 628 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

smyková únosnost se  
smykovou výztuží

$$v_{Rd,cs,1} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d_{eff}}{s_r} a_{sw} f_{ywd} \frac{1}{u_1 d_{eff}} \sin \alpha =$$

na prvním kontrolovaném  
obvodě

$$\begin{aligned} &= 0,75 \cdot 0,65 + 1,5 \frac{0,161}{0,12} 628 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \frac{1}{2,51 \cdot 0,161} \sin 90^\circ = \\ &= 1,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$v_{Ed,1} = 1,21 \text{ MPa} < v_{Rd,cs,1} = 1,85 \text{ MPa}$$

**VYHOVÍ**

**druhý kontrolovaný obvod**

druhý kontrolovaný obvod  $u_2 = 3c + 4\pi d_{eff} = 3 \cdot 0,5 + 4 \pi \cdot 0,161 = 3,52 \text{ m}$

návrhová smyková síla  $v_{Ed,2} = 195,77 \text{ kN}$

návrhové smykové napětí  $v_{Ed,2} = \frac{\beta v_{Ed,2}}{u_2 d_{eff}} = \frac{1,4 \cdot 195,77}{3,52 \cdot 0,161} 10^{-3} = 0,49 \text{ MPa}$

$v_{Ed,2} = 0,49 \text{ MPa} < v_{Rd,c} = 0,65 \text{ MPa}$

**VYHOVÍ****kontrolovaný obvod, ve kterém není požadována smyk. výztuž ( $v_{Ed,out} = v_{Rd,c}$ )**

vzdálenost  $u_{out}$   
(interpolace)

$$r = - \frac{(2d_{eff} - 4d_{eff})(v_{Ed,1} - v_{Rd,c})}{v_{Ed,1} - v_{Ed,2}} =$$

$$= - \frac{(2 \cdot 0,161 - 4 \cdot 0,161)(1,21 - 0,65)}{1,21 - 0,49} =$$

$$= 0,25 \text{ m} \Rightarrow r_{out} = 2d_{eff} + r = 0,321 + 0,25 = 0,566 \text{ m}$$

Konstrukční zásady

vzdálenost 1. řady výztuže

$$0,3 d_{eff} < x < 0,5 d_{eff}$$

$$0,3 \cdot 0,161 < x < 0,5 \cdot 0,161$$

$$0,048 \text{ m} < x < 0,081 \text{ m}$$

**volím:  $x = 0,08 \text{ m}$**

tangenciální vzdálenosti mezi trny (maximální) – měřeno v programu AutoCAD

$$s_{t,1} = 0,24 \text{ m} < 2d_{eff} = 0,32 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,2} = 0,24 \text{ m} < 2d_{eff} = 0,32 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,3} = 0,24 \text{ m} < 2d_{eff} = 0,32 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

$$s_{t,4} = 0,24 \text{ m} < 2d_{eff} = 0,32 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

vzdálenost posledního trnu od obvodu  $u_{out}$

$$r_{out} - x - 3s_r = 0,57 - 0,08 - 3 \cdot 0,12 = 0,13 \text{ m} < 1,5d_{eff} = 0,24 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

tangenciální vzdálenost trnů na obvodu  $u_l$

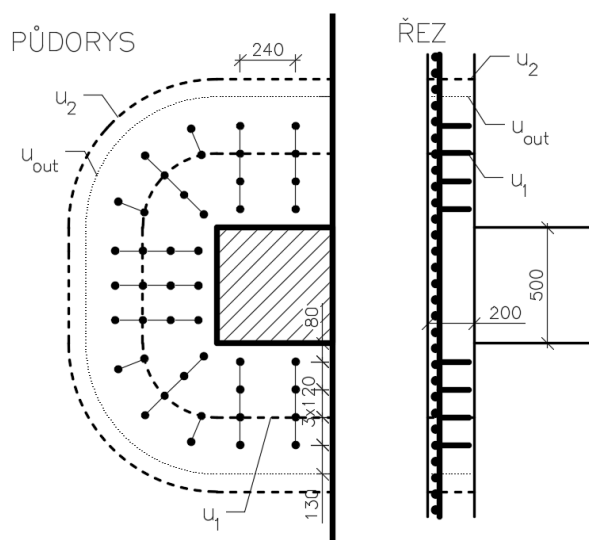
$$s_{t,u_l} = 0,24 \text{ m} \leq 1,5d_{eff} = 0,24 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

minimální stupeň vyztužení (platí pro všechny řady)

$$\rho_{sw,1} = 1,5 \frac{a_{sw,1}}{s_r s_{t,1}} = 1,5 \frac{79 \cdot 10^{-6}}{0,12 \cdot 0,24} = 41,1 \cdot 10^{-4} > \rho_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 8,8 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

Aby byly splněny konstrukční zásady byl počet trnů v řadě zvýšen na 9 ks a ve dvou posledních řadách budou přidány smykové lišty se 2 trny (viz. Obr. 5.10). Navržené smykové lišty budou od firmy JORDAHL konkrétně 4 ks JDA-2/10/120 a 9 ks JDA-4/10/120.



Obr. 5.10: Schéma výztuže na protlačení

### Dilatace – smykové trny

- **max. smyková síla v místě dilatace:**  $v_{Ed} = 54,84 \text{ kNm}$

návrh dle programu Schöck SLD:

24 ks smykových trnů SLD 40

vzdálenost trnu od kraje desky:  $e_1 = 0,44 \text{ m}$

vzdálenost mezi trny  $e_2 = 0,87 \text{ m}$

přídavná výztuž:

závěsná přídavná výztuž: 4 Ø10 mm

smyková výztuž: 2 Ø10 mm

třmínek na trnu: 2 Ø8 mm

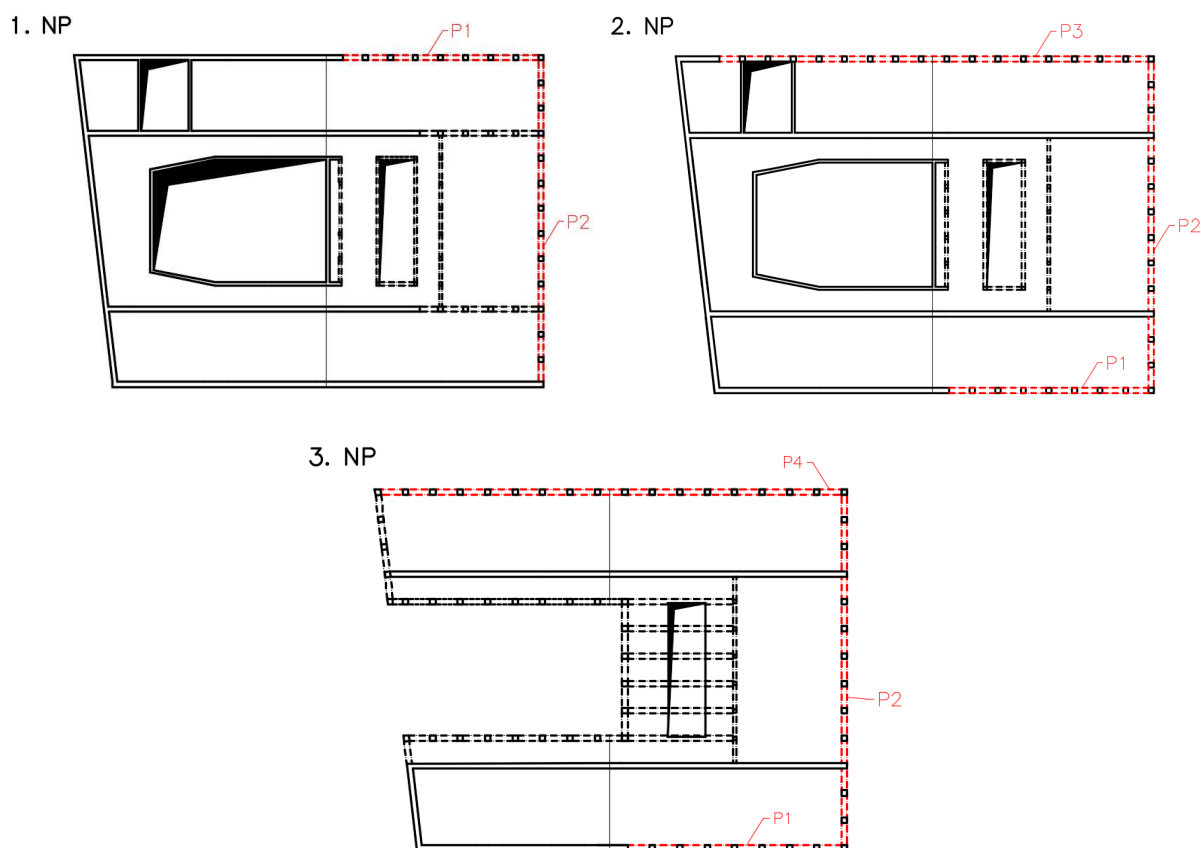
přivařená výztuž: 2 Ø10 mm

přídavné třmínky: 2 Ø10 mm

## 5.2. Průvlaky

### 5.2.1. Vnější průvlaky P1 až P4

U vnějších průvlaků se objevuje velký kroutící moment  $M_x$ , který není možné zanedbat, proto bude provedeno i posouzení pro interakci smyku a kroucení. Vzhledem k podobným hodnotám vnitřních sil u všech vnějších průvlaků, budou navrženy jednotného průřezu a stejného vyztužení. Umístění jednotlivých průvlaků je zobrazeno na *Obr. 5.11* nebo ve výkrese č. 5: Schéma konstrukčního systému.



*Obr. 5.11: Umístění průvlaků v půdoryse*

### Vnitřní síly

Vnitřní síly na průvlaku byly vypočteny pomocí programu Scia Engineer 15.3 a nabývají následujících hodnot (viz. *Obr. 5.12* a *5.13*):

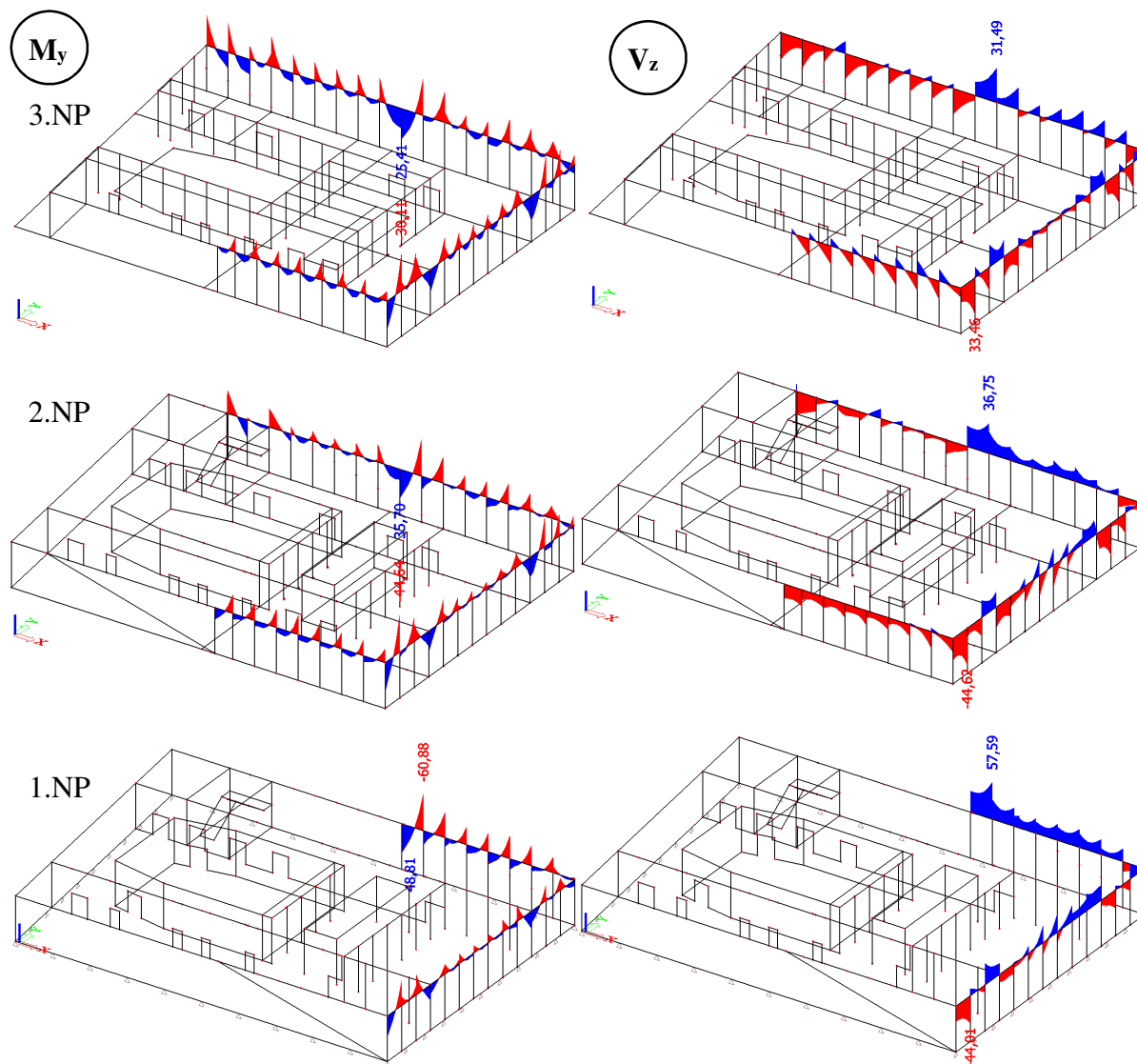
$$M_x = T_{Ed} = 84,79 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,přísl} = 26,15 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y}^- = -60,88 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y}^+ = 48,81 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,z} = 57,59 \text{ kN}$$



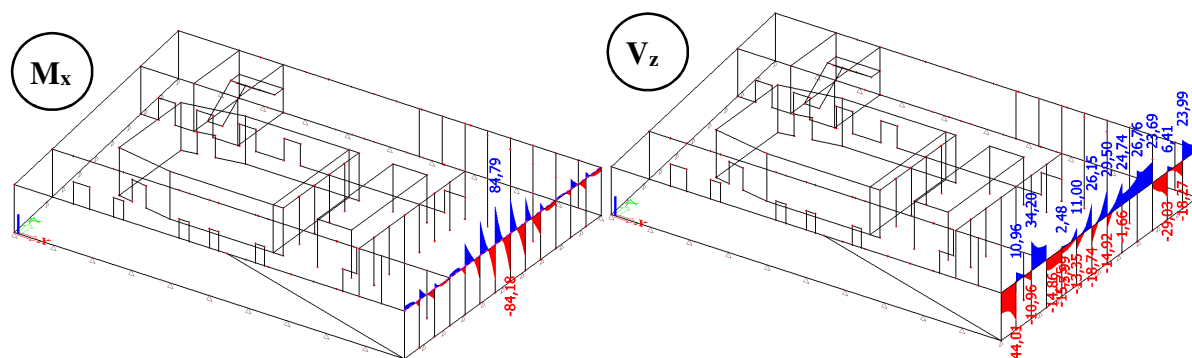
Obr. 5.12: Obálka ohybových momentů  $M_y$  a posouvajících sil  $V_z$

Největší vnitřní síly se nachází na průvlaku P1 v 1. NP. Jako rozhodující kombinace se ukázaly pro:

- ohybový moment: vl. tíha + stálé + užiténé\_2+ sníh + vítr\_příčný+  
vl. tíha + stálé + užiténé\_3 + vítr\_příčný+



- posouvající síly: vl. tíha + stálé + užitné\_3 + sníh + vítr\_příčný+
- kroucení: vl. tíha + stálé + užit\_3 + vítr\_podélný+



Obr. 5.13: Kroucí moment a příslušná posouvající síla

### Parametry vstupující do výpočtu

V Tab. 5.10 jsou uvedeny parametry průvlaků a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.10: Parametry průvlaků a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
délka průvlaku	LP1	20,0	m
	LP2	33,0	m
	LP3	42,5	m
	LP4	43,0	m
rozměry průvlaku	h	500	mm
	b <sub>w</sub>	350	mm
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku $[f_{ck}]/[\gamma_c]$	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa

název	označení	hodnota	jednotka
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu [ $f_{yk}$ ]/[ $\gamma_s$ ]	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

### Krytí hlavní nosné výztuže

#### Krytí třmínků

předpoklad:  $\varnothing_w = 8 \text{ mm}$

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

#### Krytí hlavní nosné výztuže

předpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(16 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 16 \text{ mm}$$

$c_{min} = \max(15; 16) = 16 \text{ mm}$

toleranční zvětšení  $\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$

nominální krycí vrstva  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 9 = 25 \text{ mm}$

### Mezní stav únosnosti - ohyb

- ohybový moment  $M_{Ed,y} = |-60,88| \text{ kNm}$

#### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{min} = h - c_{nom,deska} - \varnothing_{deska,x} - \varnothing_{deska,y} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} =$$

$$= 500 - 25 - 16 - 16 - 8 - \frac{16}{2} = 427 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{60,88 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,427} = 364 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 364 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,016^2} = 1,8 \text{ ks}$$

**navrhuji: 3 Ø16 mm**

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 3 \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 603 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 603 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 262,31 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{262,31 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,35 \cdot 20 \cdot 10^6} = 46,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$M_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 262,31 (0,427 - 0,4 \cdot 46,8 \cdot 10^{-3}) = 107,62 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y^-} = |-60,88| \text{ kNm} < M_{Rd} = 107,62 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**

- **ohybový moment  $M_{Ed,y^+} = 48,81 \text{ kNm}$**

Návrh

předpoklad: Ø = 16 mm

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 500 - 25 - 8 - \frac{16}{2} = 459 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{48,81 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,459} = 272 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 272 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,016^2} = 1,3 \text{ ks}$$

**navrhuji: 3 Ø16 mm**

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 3 \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 603 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 603 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 262,31 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{262,31 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,35 \cdot 20 \cdot 10^6} = 46,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$M_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 262,31 (0,459 - 0,4 \cdot 46,8 \cdot 10^{-3}) = 116,01 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y^+} = 48,81 \text{ kNm} < M_{Rd} = 116,01 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**

- **kotevní délka**

pro  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ :

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{16 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 580 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = 580 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 580 \text{ mm}$**

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 580,5; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = 174 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 174 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

### Mezní stav únosnosti - smyk

- **posouvající síla  $V_{Ed,z} = 57,59 \text{ kNm}$**

Posouzení smykové únosnosti bez smykové výztuže

stupeň vyztužení

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{402 \cdot 10^{-6}}{0,35 \cdot 0,427} = 1,9 \cdot 10^{-3} < 0,02 \quad \text{OK}$$

ostatní parametry  
vstupující do výpočtu

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{427}} = 1,68 < 2,0 \quad \text{OK}$$

max. návrhová únosnost  
ve smyku bez smykové  
výztuže

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \right] b_w d = \left[ 0,12 \cdot 1,68 (100 \cdot 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} \right] 0,3 \cdot 0,427 = 53,80 \text{ kN}$$

minimální únosnost  
betonu

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,68^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 418,48 \text{ kPa}$$

$$V_{Rd,min} = v_{min} b_w d = 418,48 \cdot 0,35 \cdot 0,427 = 62,63 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 53,91 \text{ kN} < V_{Rd,min} = 62,63 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 57,59 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 62,63 \text{ kN}$$

$$\text{NEVYHOVÍ} \Rightarrow V_{Rd,c} = 62,63 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**

$\Rightarrow$  není nutno navrhovat smykovou výztuž

Maximální smyková únosnost betonu

součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,427 = 0,386 \text{ m}$$

maximální smyková  
únosnost

$$\begin{aligned} V_{Rd,max} &= v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} = \\ &= 0,528 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 0,35 \cdot 0,386 \cdot \frac{1}{\cot 30^\circ + \tan 30^\circ} = \\ &= 617,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,max} = 617,92 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 57,59 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ****Mezní stav únosnosti – kroucení**

- **kroučící moment  $M_{Ed,x} = 84,79 \text{ kNm}$  a příslušná posouvající síla  $V_{přísl} = 26,15 \text{ kN}$**

Průřezové charakteristiky

plný průřez

$$b = 0,35 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

$$A = b \cdot h = 0,35 \cdot 0,5 = 0,175 \text{ m}^2$$

$$u = 2(b + h) = 2(0,35 + 0,5) = 1,7 \text{ m}$$

dutý průřez

$$t_{ef} = \frac{A}{u} = \frac{0,175}{1,7} = 0,103 \text{ m}$$

$$b_k = b - t_{ef} = 0,35 - 0,103 = 0,247 \text{ m}$$

$$h_k = h - t_{ef} = 0,5 - 0,103 = 0,397 \text{ m}$$

$$A_k = b_k \cdot h_k = 0,247 \cdot 0,397 = 0,098 \text{ m}^2$$

$$u_k = 2(b_k + h_k) = 2(0,247 + 0,397) = 1,29 \text{ m}$$

Posouzení únosnosti v kroucení bez výztuženávrhový kroučící  
moment betonu

$$T_{Rd,c} = 2 A_k t_{ef} f_{ctd} = 2 \cdot 0,098 \cdot 0,103 \cdot \frac{2,0}{1,5} 10^3 = 26,93 \text{ kNm}$$

$$T_{Rd,c} = 26,93 \text{ kNm} < T_{Ed} = 84,79 \text{ kNm}$$

**NEVYHOVÍ** $\Rightarrow$  nutno navrhovat výztuž na krouceníPosouzení tlačných diagonál

součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

návrhový krouticí  
moment betonu na mezi  
únosnosti

$$\begin{aligned} T_{Rd,max} &= 2 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta = \\ &= 2 \cdot 0,528 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,098 \cdot 0,103 \cdot \sin 30^\circ \cdot \cos 30^\circ = \\ &= 92,35 \text{ kNm} \end{aligned}$$

posouzení tlačných diagonál:

$$\begin{aligned} \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} &< 1 \\ \frac{26,15}{617,92} + \frac{84,79}{92,35} &< 1 \\ 0,04 + 0,92 &< 1 \\ \mathbf{0,96} &< 1 \end{aligned}$$

**VYHOVÍ**

#### Posouzení únosnosti v kroucení s výztuží

přídavné svislé třmínky

**volím: dvojstřížné Ø8 mm**

plocha jednoho třmínku

$$A_{swt} = n \frac{\pi \varnothing_{wt}^2}{4} = 2 \frac{\pi 0,008^2}{4} = 101 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

minimální vzdálenost  
třmínků

$$\begin{aligned} T_{Rd,st} &= A_{swt} \cdot f_{ywd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \frac{1}{s_{wt}} \\ \Rightarrow s_{wt} &= A_{swt} \cdot f_{ywd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \frac{1}{T_{Ed}} = \\ &= 101 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 2 \cdot 0,098 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{84,79 \cdot 10^3} = 0,175 \text{ m} \end{aligned}$$

**navrhuji: dvojstřížné Ø8 mm/170 mm**

únosnost v kroucení  
(třmínky)

$$\begin{aligned} T_{Rd,st} &= A_{swt} \cdot f_{ywd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \frac{1}{s_{wt}} = \\ &= 101 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 2 \cdot 0,098 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{0,17} = 87,37 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**T<sub>Ed</sub> = 84,79 kNm < T<sub>Rd,s</sub> = 87,37 kNm**

**VYHOVÍ**

přídavná podélná výztuž

nutná plocha přídavné  
výztuže

$$\begin{aligned} T_{Rd,sl} &= \Sigma A_{sl} \cdot f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k \frac{1}{u_k \cot \theta} \\ \Rightarrow \Sigma A_{sl} &= \frac{T_{Ed} u_k \cot \theta}{f_{ywd} \cdot 2 \cdot A_k} = \\ &= \frac{84,79 \cdot 10^3 \cdot 1,29 \cdot \cot 30^\circ}{435 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 0,098} = 2218 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

plocha na jednotku délky  
obvodu

$$A_{sl,i} = \frac{\Sigma A_{sl}}{u_k} = \frac{2218 \cdot 10^{-3}}{1,29} = 1722 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

výztuž na kroucení  
na délku dolní části  
průřezu  
celková výztuž dolní  
nutný počet prutů

$$A_{sl,1} = A_{sl,i} u_{sl,1} = 1722 \cdot 10^{-6} \cdot 0,326 = 562 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,1} = A_{sl,1} + A_{s,nut+} = (562 + 272) \cdot 10^{-6} = 834 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,1}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 834 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,016^2} = 4,1 \text{ ks}$$

**volím: 5 Ø16 mm**

výztuž na kroucení  
na délku horní části  
průřezu

$$A_{sl,2} = A_{sl,i} u_{sl,2} = 1722 \cdot 10^{-6} \cdot 0,326 = 562 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

celková výztuž dolní

$$A_{s,2} = A_{sl,2} + A_{s,nut-} = (562 + 364) \cdot 10^{-6} = 926 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,2}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 926 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,016^2} = 4,6 \text{ ks}$$

**volím: 5 Ø16 mm**

výztuž na kroucení  
v ostatní části průřezu

$$A_{sl,3} = A_{sl,i} (u_k - u_{sl,1} - u_{sl,2}) = 1722 \cdot 10^{-6} \cdot (1,29 - 0,326 - 0,326) = 1094 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,3}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 1094 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,016^2} = 5,4 \text{ ks}$$

**volím: 6 Ø16 mm**

## Konstrukční zásady

### • ohybová výztuž

omezení množství výztuže

$$a_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x \right\} = \max \left\{ 0,26 \frac{2,9}{500} 0,35 \cdot 0,429 \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 226 \cdot 10^{-6} \\ 212 \cdot 10^{-6} \end{matrix} \right\} = 226 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 0,35 \cdot 0,5 = 7000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,min} = 226 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 2815 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (14 Ø16 mm)}$$

**VYHOVÍ**

$$a_{s,max} = 7000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 3217 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (16 Ø16 mm)}$$

**VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti (pro 5 Ø16 mm)

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,078}{0,429} = 0,182 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

**VYHOVÍ**

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 500; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - \varnothing}{n-1} = \frac{350 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 6 - 16}{3-1} = 136 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 250 \text{ mm} > s_{sv,skut} = 68 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

minimální světlá vzdálenost

$$s_{\min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{os,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - n\varnothing}{n-1} = \frac{350 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 6 - 5 \cdot 16}{5-1} = 52 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 52 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- **třmínky**

minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{swt} = \frac{A_{swt}}{s_l b_w \sin \alpha} = \frac{113 \cdot 10^{-6}}{0,17 \cdot 0,35 \cdot \sin 90^\circ} = 1,7 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{w,\min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,88 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{swt} = 1,7 > \rho_{w,\min} = 0,88$$

VYHOVÍ

maximální osová vzdálenost mezi větvemi třmínku

$$s_{t,\max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,429 = 0,322 \text{ m} > s_{t,skut} = 292 \text{ mm}$$

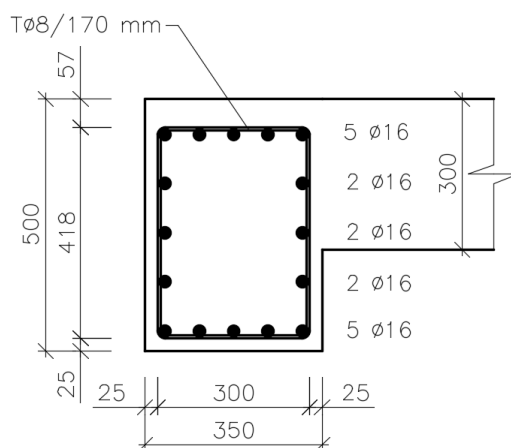
VYHOVÍ

maximální osová vzdálenost mezi třmínky

$$s_{l,\max} = \min(0,75 d; u/8; b_w) = \min(0,322; 1,7/8; 0,35) = 0,213 \text{ m}$$

$$s_{l,\max} = 0,213 \text{ m} > s_{l,skut} = 0,17 \text{ m}$$

VYHOVÍ



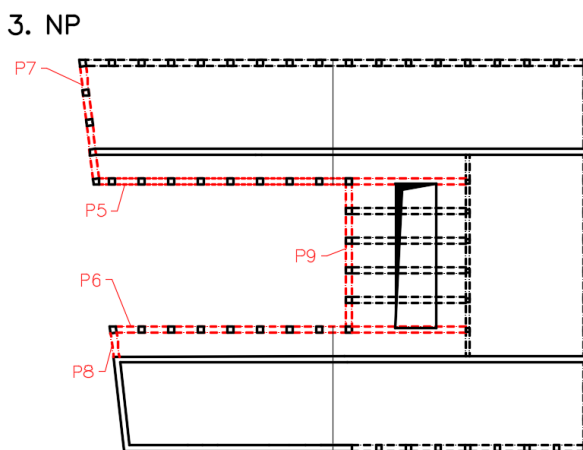
Obr. 5. 14: Schéma výztuže v řezu



Průřez vnějších průvlaků P1, P2, P3 a P4 rozměrů 0,35 x 0,5 m bude vyztužen 5 ks  $\varnothing 16$  mm v poli při dolním povrchu a nad podporami při horním povrchu. Při horním povrchu budou po celé délce průvlaku vždy 3 ks  $\varnothing 16$  mm a dále po stranách průřezu 3 ks  $\varnothing 16$  (na každé straně). Primární výztuží proti kroucení bude dvojstřížný třmínek  $\varnothing 8$  mm po 170 mm (viz. Obr. 5.14).

### 5.2.2. Vnější průvlaky P5 až P9

Na tyto průvlaky nepůsobí síly, jež by zapříčiňovaly jejich kroucení, jak je tomu u ostatních vnějších průvlaků. Návrh bude tedy proveden především na ohyb a smyk.



Obr. 5.15: Umístění průvlaků v půdoryse

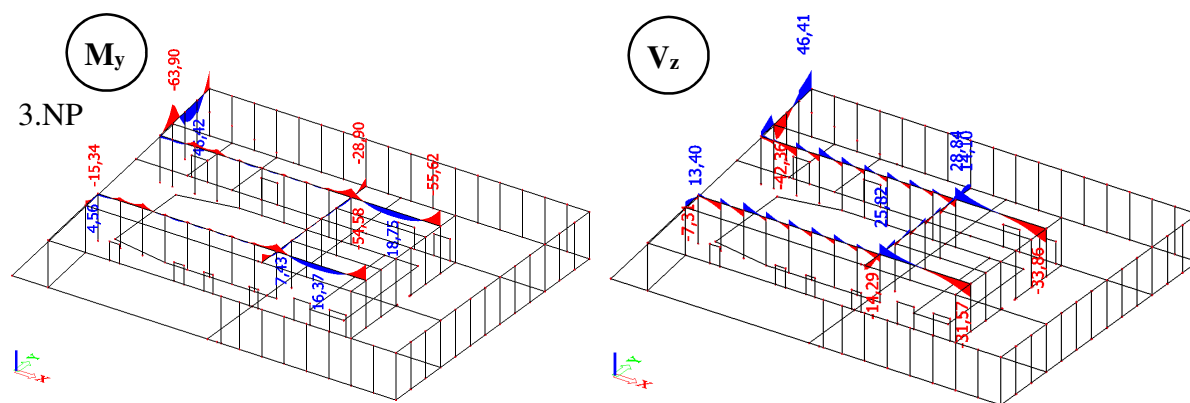
### Vnitřní síly

Vnitřní síly na průvlaku byly vypočteny pomocí programu Scia Engineer 15.3 a nabývají následujících hodnot (viz. Obr. 5.16):

$$M_{Ed,y}^- = -63,30 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y}^+ = 46,42 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,z} = 46,41 \text{ kN}$$



Obr. 5.16: Obálka vnitřních sil

Vyšší hodnoty vnitřních sil na průvlaku P7 jsou způsobeny průhybem desky nad 2. NP, které by se dalo přirovnat ke stavu popuštění podpor. Jako rozhodující kombinace se ukázaly pro:

- ohybový moment: vl. tíha + stálé + užiténé\_1 + sníh + vítr\_příčný–  
vl. tíha + stálé + užiténé\_3 + sníh + vítr\_příčný–
- posouvající síly: vl. tíha + stálé + užiténé\_1 + sníh + vítr\_příčný–

### Parametry vstupující do výpočtu

V Tab. 5.11 jsou uvedeny parametry průvlaků a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.11: Parametry průvlaků a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
délka průvlaku	LP5	31,75	m
	LP6	30,30	m
	LP7	10,60	m
	LP8	3,0	m
	LP9	13,0	m
rozměry průvlaku	h	500	mm
	b <sub>w</sub>	300	mm
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku [ $f_{ck}$ ]/[ $\gamma_c$ ]	$f_{cd}$	20	MPa

název	označení	hodnota	jednotka
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu [ $f_{yk}$ ]/[ $\gamma_s$ ]	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

**Krytí hlavní nosné výztuže**Krytí třmínkůpředpoklad:  $\varnothing_w = 8 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$
Krytí hlavní nosné výztužepředpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(10 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$
 $c_{min} = \max(15; 16) = 16 \text{ mm}$ toleranční zvětšení  $\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$ nominální krycí vrstva  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$ **Mezní stav únosnosti - ohyb**

- ohybový moment  $M_{Ed,y} = |-63,30| \text{ kNm}$

Návrhpředpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ 

účinná výška průřezu

$$d_{min} = h - c_{nom,deska} - \varnothing_{deska,x} - \varnothing_{deska,y} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} =$$

$$= 500 - 25 - 10 - 10 - 8 - \frac{10}{2} = 442 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{63,30 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,442} = 369 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 369 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,01^2} = 4,7 \text{ ks}$$

**navrhují: 5 Ø10 mm**

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 5 \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 393 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 393 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 170,74 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{170,74 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^6} = 35,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$M_{Rd} = F_s (d_{min} - 0,4x) = 170,74 (0,442 - 0,4 \cdot 35,6 \cdot 10^{-3}) = 72,35 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y^-} = |-63,30| \text{ kNm} > M_{Rd} = 72,35 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**

- **ohybový moment  $M_{Ed,y^+} = 46,42 \text{ kNm}$**

Návrhpředpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ 

účinná výška průřezu

$$d_{min} = h - c_{nom} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 500 - 20 - 8 - \frac{10}{2} = 467 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{46,42 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,467} = 253 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 253 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,01^2} = 3,2 \text{ ks}$$

**navrhují: 3 Ø10 mm**

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 3 \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 236 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 236 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 102,44 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{102,44 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^6} = 21,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti průřezu  $M_{Rd} = F_s (d_{min} - 0,4x) = 102,44(0,467 - 0,4 \cdot 21,3 \cdot 10^{-3}) = 47,17 \text{ kNm}$

$M_{Ed,y^+} = 46,42 \text{ kNm} > M_{Rd} = 47,17 \text{ kNm}$  **VYHOVÍ**

- **konstrukční zásady**

omezení množství výztuže

$$a_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x \right\} = \max \left\{ 0,26 \frac{2,9}{500} 0,3 \cdot 0,442 \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 198 \cdot 10^{-6} \\ 171 \cdot 10^{-6} \end{matrix} \right\} = 198 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 6000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$a_{s,min} = 198 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 236 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  **VYHOVÍ**

$a_{s,max} = 6000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 393 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  **VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0356}{0,438} = 0,081 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$
 **VYHOVÍ**

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 500; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - \varnothing}{n - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 20 - 2 \cdot 8 - 10}{3 - 1} = 117 \text{ mm}$$

$s_{max} = 250 \text{ mm} > s_{sv,skut} = 117 \text{ mm}$  **VYHOVÍ**

minimální světlá vzdálenost

$$s_{min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{os,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - n\varnothing}{n - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 20 - 2 \cdot 8 - 5 \cdot 10}{5 - 1} = 48,5 \text{ mm}$$

$s_{min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 48,5 \text{ mm}$  **VYHOVÍ**

- **kotevní délka**

pro  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ :

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{10 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 362,5 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 362,5 = 362,5 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 370 \text{ mm}$**

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 362,5; 10 \cdot 10; 100 \text{ mm}) = 108,75 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 370 \text{ mm} > l_{b,min} = 109 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

### Mezní stav únosnosti - smyk

- **posouvající síla  $V_{Ed,z} = 46,41 \text{ kNm}$**

Posouzení smykové únosnosti bez smykové výztuže

stupeň vyztužení

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{393 \cdot 10^{-6}}{0,35 \cdot 0,442} = 1,8 \cdot 10^{-3} < 0,02 \quad \text{OK}$$

ostatní parametry  
vstupující do výpočtu

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{442}} = 1,68 < 2,0 \quad \text{OK}$$

max. návrhová únosnost  
ve smyku bez smykové  
výztuže

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \right] b_w d = \left[ 0,12 \cdot 1,68 (100 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} \right] 0,3 \cdot 0,442 = 46,31 \text{ kN}$$

minimální únosnost  
betonu

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,68^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 415,85 \text{ kPa}$$

$$V_{Rd,min} = v_{min} b_w d = 415,85 \cdot 0,3 \cdot 0,438 = 54,64 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 46,31 \text{ kN} < V_{Rd,min} = 54,64 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 54,64 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 46,41 \text{ kN}$$

**NEVYHOVÍ  $\Rightarrow V_{Rd,c} = 54,64 \text{ kN}$   
VYHOVÍ**

$\Rightarrow$  navržené třmínky budou pouze konstrukční

Maximální smyková únosnost betonu

součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,442 = 0,394 \text{ m}$$

maximální smyková  
únosnost

$$\begin{aligned} V_{Rd,max} &= v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} = \\ &= 0,528 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 0,3 \cdot 0,394 \frac{1}{\cot 30^\circ + \tan 30^\circ} = \\ &= 540,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,max} = 540,76 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 46,42 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**• **konstrukční zásady - návrh**

maximální osová vzdálenost mezi větvemi třmínku

$$s_{t,max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,438 = 0,329 \text{ m}$$

$$s_{os,skut} = b_w - 2c_{nom} - \varnothing_w = 300 - 2 \cdot 20 - 8 = 252 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} = 0,329 \text{ m} > s_{t,skut} = 0,252 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

maximální osová vzdálenost mezi třmínky

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 0,438 (1 + \cot 90^\circ) = 0,329 \text{ m}$$

$$s_{l,max} = 0,329 \text{ m} > s_{l,skut} = 0,21 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

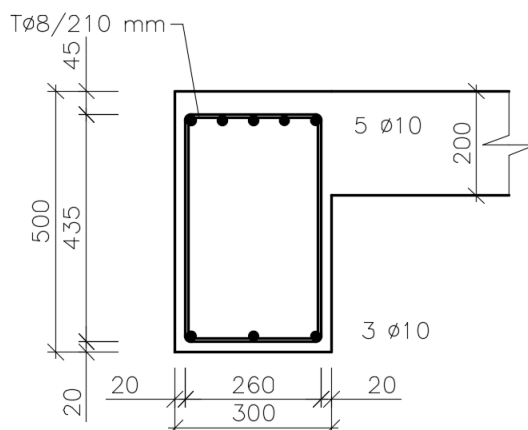
minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{swt} = \frac{A_{swt}}{s_l b_w \sin \alpha} = \frac{56,5 \cdot 10^{-6}}{0,21 \cdot 0,3 \cdot \sin 90^\circ} = 0,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,88 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{swt} = 0,90 > \rho_{w,min} = 0,88$$

**VYHOVÍ**

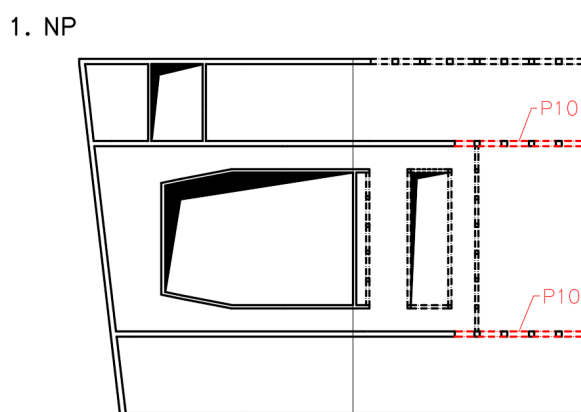


Obr. 5. 17: Schéma výztuže v řezu

Průřez vnějších průvlaků P5, P6, P7, P8 a P9 rozměrů 0,3 x 0,5 m bude vyztužen 3 ks Ø10 mm v poli při dolním povrchu. Při horním povrchu bude vždy 5 ks Ø10 mm. Podélnou výztuž budou obepínat třmínky Ø8 mm po 210 mm (viz. Obr. 5.17).

### 5.2.3. Vnitřní průvlaky P10

Nachází se v interiéru budovy v 1. NP, jelikož se nachází pod průběžnou nosnou stěnou v 2. a 3. NP hodnoty vnitřních sil jsou zde větší. Jejich umístění je zobrazeno na Obr. 5.18.



Obr. 5.18: Umístění průvlaků v půdoryse



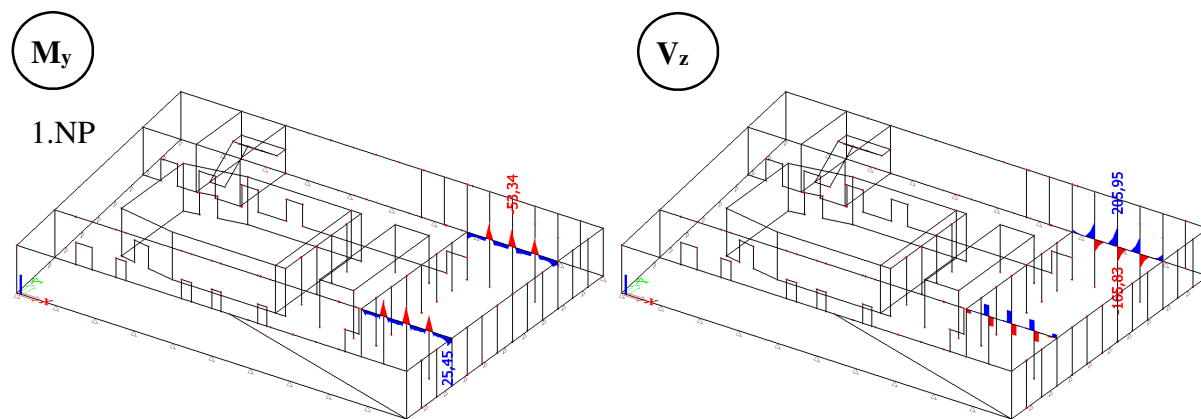
## Vnitřní síly

Vnitřní síly na průvlaku byly vypočteny pomocí programu Scia Engineer 15.3 a nabývají následujících hodnot (viz. Obr. 5.19):

$$M_{Ed,y}^- = -53,34 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y}^+ = 25,45 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,z} = 205,95 \text{ kN}$$



Obr. 5.19: Obálka vnitřních sil

Rozhodujícími kombinacemi jsou:

- ohybový moment: vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sníh + vítr\_příčný–  
vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sníh + vítr\_příčný+
- posouvající síly: vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sníh + vítr\_příčný–

## Parametry vstupující do výpočtu

V Tab. 5.12 jsou uvedeny parametry průvlaků a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.12: Parametry průvlaků a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
délka průvlaku	$L_{P10}$	12,30	m
rozměry průvlaku	h	450	mm
	$b_w$	200	mm
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku $[f_{ck}]/[\gamma_c]$	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu $[f_{yk}]/[\gamma_s]$	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

**Krytí hlavní nosné výztuže**Krytí třmínkůpředpoklad:  $\varnothing_w = 8 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím

k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

Krytí hlavní nosné výztužepředpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím

k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(16 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 16 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(15; 16) = 16 \text{ mm}$$

toleranční zvětšení

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$$

nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 9 = 25 \text{ mm}$$

**Mezní stav únosnosti - ohyb**

- ohybový moment  $M_{Ed,y^-} = |-53,34| \text{ kNm}$

Návrhpředpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ 

účinná výška průřezu

$$\begin{aligned} d_{min} &= h - c_{nom,deska} - \varnothing_{deska,x} - \varnothing_{deska,y} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = \\ &= 450 - 25 - 10 - 10 - 8 - \frac{16}{2} = 389 \text{ mm} \end{aligned}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{53,34 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,389} = 357 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 357 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,016^2} = 1,7 \text{ ks}$$

**navrhuji: 2  $\varnothing 16 \text{ mm}$** 

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 2 \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 348 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 348 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 174,84 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{174,84 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 54,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_s (d_{min} - 0,4x) = 174,84 (0,389 - 0,4 \cdot 54,6 \cdot 10^{-3}) = \\ &= 64,71 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Ed,y^-} = |-53,34| \text{ kNm} < M_{Rd} = 64,71 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**

- ohybový moment  $M_{Ed,y^+} = 25,45 \text{ kNm}$

Návrhpředpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ 

účinná výška průřezu

$$\begin{aligned} d_{min} &= h - c_{nom} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = \\ &= 450 - 25 - 8 - \frac{10}{2} = 412 \text{ mm} \end{aligned}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{25,45 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,412} = 158 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 158 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,01^2} = 2 \text{ ks}$$

**navrhuji: 2  $\varnothing 10 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 2 \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 157 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 157 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{68,30 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 21,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$M_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 68,30 (0,412 - 0,4 \cdot 21,3 \cdot 10^{-3}) = 27,55 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y}^+ = 25,45 \text{ kNm} < M_{Rd} = 27,55 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**• **konstrukční zásady**

omezení množství výztuže

$$a_{s,\min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x, 0,0013 b \cdot d_x \right\} = \max \left\{ 0,26 \frac{2,9}{500} 0,2 \cdot 0,412, 0,0013 \cdot 0,2 \cdot 0,412 \right\} = \max \left\{ 124 \cdot 10^{-6}, 107 \cdot 10^{-6} \right\} = 124 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,\max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 0,45 = 3600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,\min} = 124 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 157 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVÍ**

$$a_{s,\max} = 3600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 348 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0546}{0,382} = 0,140 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

**VYHOVÍ**

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{\max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 450; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - \varnothing}{n - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 10}{2 - 1} = 124 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 250 \text{ mm} > s_{sv,skut} = 134 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

minimální světlá vzdálenost

$$s_{\min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{os,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - n\varnothing}{n - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 16}{2 - 1} = 102 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 102 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

- kotevní délka**

pro  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ :návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{10 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 362,5 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 362,5 = 362,5 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 370 \text{ mm}$** 

minimální kotevní délka

$$l_{b,\min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 362,5; 10 \cdot 10; 100 \text{ mm}) = 108,75 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 370 \text{ mm} > l_{b,\min} = 109 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**pro  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ :návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{16 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 580 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = 580 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 580 \text{ mm}$** 

minimální kotevní délka

$$l_{b,\min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 580; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = 174 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,\min} = 174 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ****Mezní stav únosnosti - smyk**

- posouvající síla  $V_{Ed,z} = 205,95 \text{ kNm}$**

Posouzení smykové únosnosti bez smykové výztuže

stupeň vyztužení

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{393 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 0,389} = 2,0 \cdot 10^{-3} < 0,02 \quad \text{OK}$$

ostatní parametry  
vstupující do výpočtu

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{389}} = 1,71 < 2,0 \quad \text{OK}$$

max. návrhová únosnost  
ve smyku bez smykové  
výztuže

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \right] b_w d = \\ &= \left[ 0,12 \cdot 1,71 (100 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} \right] 0,2 \cdot 0,389 = \\ &= 29,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

minimální únosnost  
betonu

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,71^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 433,78 \text{ kPa}$$

$$V_{Rd,\min} = v_{\min} b_w d = 433,78 \cdot 0,2 \cdot 0,389 = 33,73 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 29,17 \text{ kN} < V_{Rd,\min} = 33,73 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 33,73 \text{ kN} < V_{Ed,z} = 205,95 \text{ kN}$$

$$\text{NEVYHOVÍ} \Rightarrow V_{Rd,c} = 33,73 \text{ kN}$$

$$\text{NEVYHOVÍ}$$

$\Rightarrow$  nutno navrhnout smykovou  
výztuž

#### Posouzení smykové únosnosti se smykovou výztuží

osová vzdálenost třmínků  $s_l = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,389 = 0,287 \text{ m}$   
(dle k-čních zásad)

**navrhuji: dvojstřížné Ø8 /120 mm**

plocha třmínků

$$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_w^2}{4} = 2 \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 101 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,389 = 0,353 \text{ m}$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

návrhová smyková síla  
s výztuží

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &= A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta \frac{1}{s_l} = \\ &= 101 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,353 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{0,12} = \\ &= 222,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,s} = 222,58 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 205,95 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**

#### Maximální smyková únosnost betonu

součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,389 = 0,353 \text{ m}$$

maximální smyková  
únosnost

$$V_{Rd,max} = v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} =$$

$$= 0,528 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 0,353 \cdot \frac{1}{\cot 30^\circ + \tan 30^\circ} =$$

$$= 314,41 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 322,64 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 205,15 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**

- konstrukční zásady**

maximální osová vzdálenost mezi větvemi třmínku

$$s_{t,max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,389 = 0,286 \text{ m}$$

$$s_{t,skut} = 142 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} = 0,286 \text{ m} > s_{t,skut} = 0,142 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

maximální osová vzdálenost mezi třmínky

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 0,389 (1 + \cot 90^\circ) = 0,286 \text{ m}$$

$$s_{l,max} = 0,286 \text{ m} > s_{l,skut} = 0,12 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

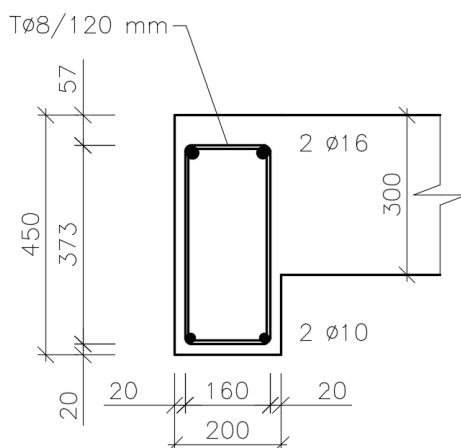
minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{swt} = \frac{A_{swt}}{s_l b_w \sin \alpha} = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{0,12 \cdot 0,2 \cdot \sin 90^\circ} = 4,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,88 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{swt} = 4,2 > \rho_{w,min} = 0,88$$

**VYHOVÍ**



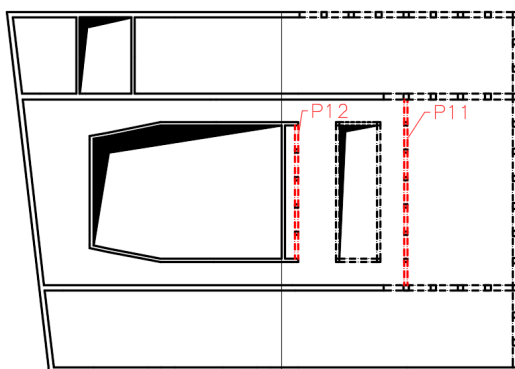
Obr. 5.20: Schéma výztuže

Průřez průvlaků P10 rozměrů 0,2 x 0,45 m bude vyztužen 2 ks  $\varnothing 16$  mm při horním povrchu a při dolním 2 ks  $\varnothing 10$  mm. Podélnou výztuž budou obepínat dvojstřížné třmínky  $\varnothing 8$  mm po 120 mm (viz. Obr. 5.20).

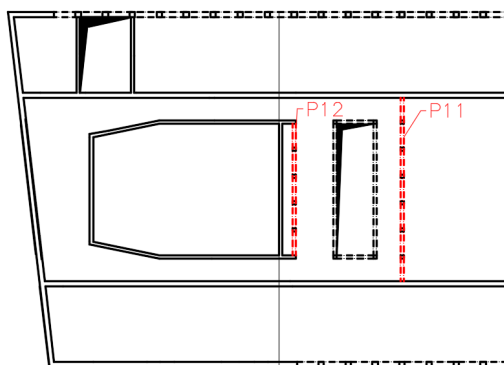
#### 5.2.4. Vnitřní průvlaký P11 a P12

Tyto průvlaký se vyznačují malými vnitřními silami, proto bude jejich návrh proveden zvlášť, aby nedošlo ke zbytečnému předimenzování výztuže. Umístění průvlaků viz. Obr. 5.21 .

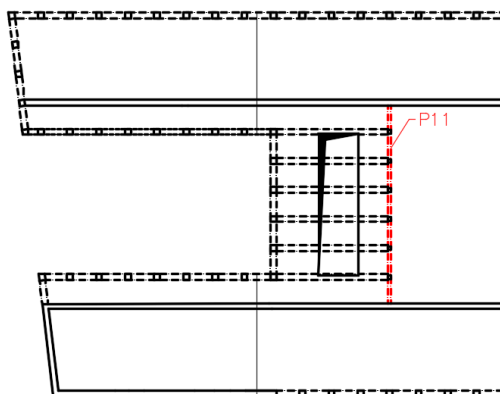
1. NP



2. NP



3. NP



Obr. 5.21: Umístění průvlaků ve 3.NP

#### Vnitřní síly

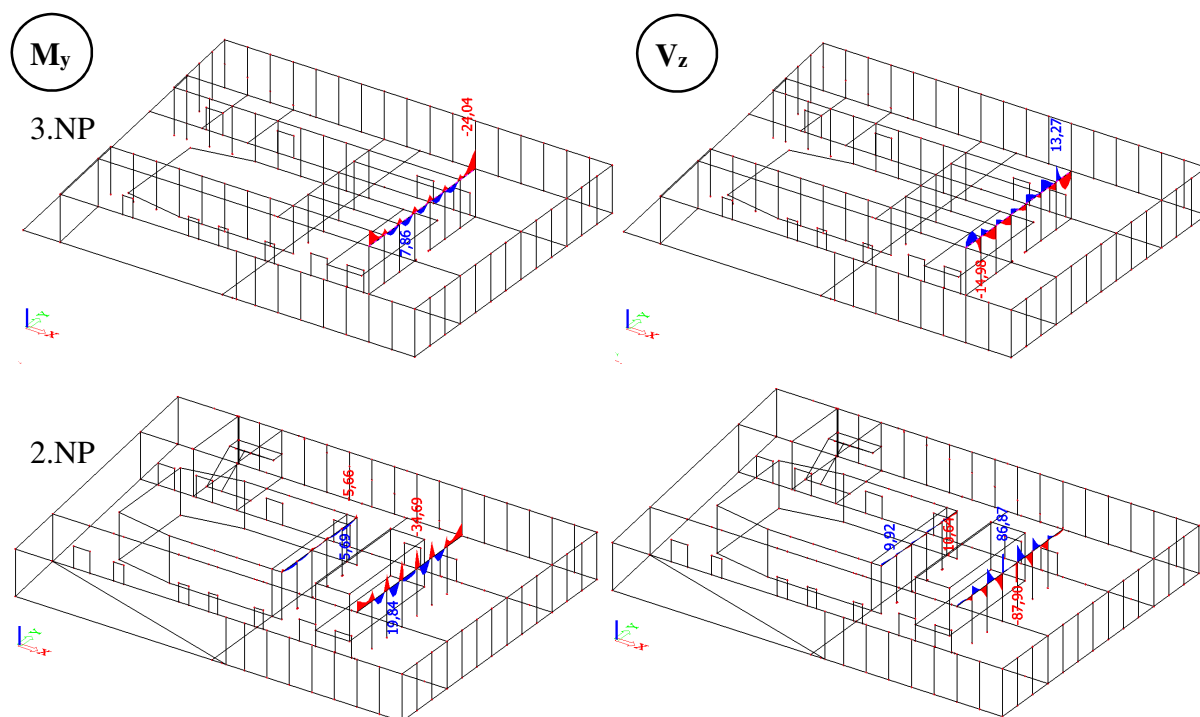
Vnitřní síly na průvlaků byly vypočteny pomocí programu Scia Engineer 15.3 a nabývají následujících hodnot (viz. Obr. 5.22 a 5.23):



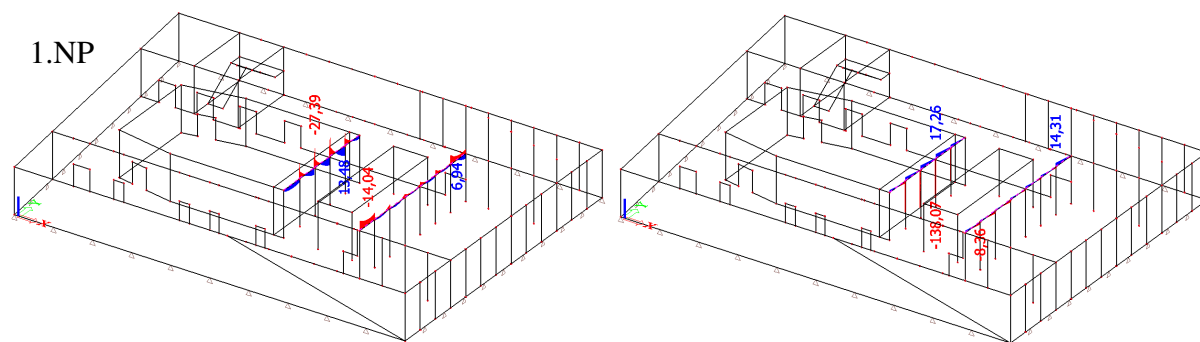
$$M_{Ed,y}^{-} = -34,69 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y}^{+} = 19,84 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,z} = 87,90 \text{ kN}$$



Obr. 5.22: Obálka vnitřních sil, 3. a 2.NP



Obr. 5.23: Obálka vnitřních sil, 1.NP

Vyšší hodnoty vnitřních sil na průvlaku P11 ve 2.NP, rozhodujícími kombinacemi v tomto případě jsou:

- ohybový moment: vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sníh + vítr\_příčný–  
vl. tíha + stálé + užitné\_1 + vítr\_podélný+
- posouvající síly: vl. tíha + stálé + užitné\_1 + vítr\_podélný+

**Parametry vstupující do výpočtu**

V Tab. 5.13 jsou uvedeny parametry průvlaků a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.13: Parametry průvlaků a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
délka průvlaku	$L_{P11}$	18,0	m
	$L_{P12}$	12,80	m
rozměry průvlaku	$h$	450	mm
	$b_w$	200	mm
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku $[f_{ck}]/[\gamma_c]$	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu $[f_{yk}]/[\gamma_s]$	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

**Krytí hlavní nosné výztuže**Krytí třmínků

předpoklad:  $\varnothing_w = 8 \text{ mm}$

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$
Krytí hlavní nosné výztuže

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(10 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

$c_{min} = \max(15; 15) = 15 \text{ mm}$

toleranční zvětšení  $\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$

nominální krycí vrstva  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$

### Mezní stav únosnosti - ohyb

- ohybový moment  $M_{Ed,y} = |-34,69| \text{ kNm}$

#### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{min} = h - c_{nom,deska} - \varnothing_{deska,x} - \varnothing_{deska,y} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 450 - 25 - 10 - 10 - 8 - \frac{10}{2} = 392 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{34,69 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,392} = 232 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 232 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,01^2} = 2,9 \text{ ks}$$

**navrhují: 3  $\varnothing 10 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 3 \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 236 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

#### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 236 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 102,44 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{102,44 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 32,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti průřezu

$$M_{Rd} = F_s (d_{min} - 0,4x) = 102,44 (0,392 - 0,4 \cdot 32,0 \cdot 10^{-3}) = 37,82 \text{ kNm}$$

**$M_{Ed,y} = |-34,69| \text{ kNm} < M_{Rd} = 37,82 \text{ kNm}$**

**VYHOVÍ**

- **ohybový moment  $M_{Ed,y^+} = 19,84 \text{ kNm}$**

#### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$\begin{aligned} d_{\min} &= h - c_{nom} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = \\ &= 450 - 25 - 8 - \frac{10}{2} = 412 \text{ mm} \end{aligned}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{19,84 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,412} = 121 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 121 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,01^2} = 1,5 \text{ ks}$$

**navrhují: 2  $\varnothing 10 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 2 \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 157 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

#### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 157 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 68,30 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{68,30 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 21,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_s (d_{\min} - 0,4x) = 68,30 (0,412 - 0,4 \cdot 21,3 \cdot 10^{-3}) = \\ &= 28,03 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Ed,y^+} = 19,84 \text{ kNm} < M_{Rd} = 28,03 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**

- **konstrukční zásady**

omezení množství výztuže

$$\begin{aligned} a_{s,\min} &= \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x, 0,0013 b \cdot d_x \right\} = \max \left\{ 0,26 \frac{2,9}{500} 0,2 \cdot 0,412, 0,0013 \cdot 0,2 \cdot 0,412 \right\} = \max \left\{ 126 \cdot 10^{-6}, 109 \cdot 10^{-6} \right\} = \\ &= 126 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$a_{s,\max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 0,45 = 3600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,\min} = 126 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 157 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVÍ**

$$a_{s,\max} = 3600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 157 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,032}{0,382} = 0,084 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

**VYHOVÍ**

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{\max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 450; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - \varnothing}{n - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 10}{2 - 1} = 124 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 250 \text{ mm} > s_{sv,skut} = 124 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

minimální světlá vzdálenost

$$s_{\min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{os,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - n\varnothing}{n - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 3 \cdot 10}{3 - 1} = 52 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 52 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

- **kotevní délka**

pro  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ :návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk:0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{10 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 362,5 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 362,5 = 362,5 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 370 \text{ mm}$** 

minimální kotevní délka

$$l_{b,\min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 362,5; 10 \cdot 10; 100 \text{ mm}) = 108,75 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 370 \text{ mm} > l_{b,\min} = 109 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

**Mezní stav únosnosti - smyk**

- posouvající síla  $V_{Ed,z} = 87,90 \text{ kNm}$

Posouzení smykové únosnosti bez smykové výztuže

stupeň vyztužení

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{236 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 0,392} = 1,4 \cdot 10^{-3} < 0,02 \quad \text{OK}$$

ostatní parametry  
vstupující do výpočtu

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{392}} = 1,72 < 2,0 \quad \text{OK}$$

max. návrhová únosnost  
ve smyku bez smykové  
výztuže

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \right] b_w d = \\ &= \left[ 0,12 \cdot 1,72 (100 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} \right] 0,2 \cdot 0,392 = \\ &= 25,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

minimální únosnost  
betonu

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,72^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 433,78 \text{ kPa}$$

$$V_{Rd,\min} = v_{\min} b_w d = 433,78 \cdot 0,2 \cdot 0,392 = 33,14 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 25,33 \text{ kN} < V_{Rd,\min} = 33,14 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 33,14 \text{ kN} < V_{Ed,z} = 87,90 \text{ kN}$$

$$\text{NEVYHOVÍ} \Rightarrow V_{Rd,c} = 33,14 \text{ kN}$$

**NEVYHOVÍ** $\Rightarrow$  nutno navrhnout smykovou  
výztužPosouzení smykové únosnosti se smykovou výztužíosová vzdálenost třmíneků  $s_t = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,392 = 0,294 \text{ m}$   
(dle k-čnických zásad)**navrhuji: dvojstřížné Ø8 /280 mm**

plocha třmíneků

$$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_w^2}{4} = 2 \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 101 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,392 = 0,344 \text{ m}$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

návrhová smyková síla

s výztuží

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta \frac{1}{s_t} =$$

$$= 101 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,344 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{0,28} =$$

$$= 95,39 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 95,39 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 87,90 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**

Maximální smyková únosnost betonu

součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,392 = 0,344 \text{ m}$$

maximální smyková  
únosnost

$$\begin{aligned} V_{Rd,max} &= v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} = \\ &= 0,528 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 0,344 \frac{1}{\cot 30^\circ + \tan 30^\circ} = \\ &= 314,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,max} = 314,41 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 87,90 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**• **konstrukční zásady**

maximální osová vzdálenost mezi větvemi třmínku

$$s_{t,max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,382 = 0,286 \text{ m}$$

$$s_{t,skut} = b_w - 2c_{nom} - \varnothing_w = 200 - 2 \cdot 25 - 8 = 142 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} = 0,286 \text{ m} < s_{t,skut} = 0,142 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

maximální osová vzdálenost mezi třmínky

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 0,382 (1 + \cot 90^\circ) = 0,294 \text{ m}$$

$$s_{l,max} = 0,294 \text{ m} > s_{l,skut} = 0,28 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

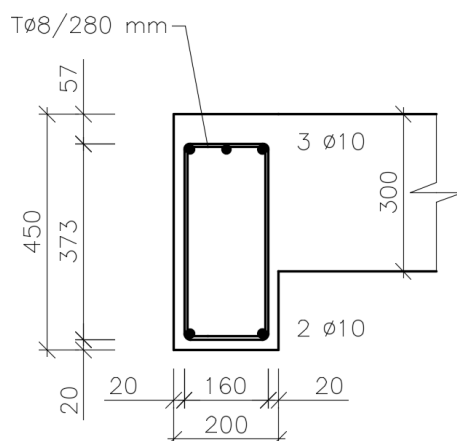
minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{swt} = \frac{A_{swt}}{s_l b_w \sin \alpha} = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{0,28 \cdot 0,2 \cdot \sin 90^\circ} = 1,8 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,88 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{swt} = 4,0 > \rho_{w,min} = 0,88$$

**VYHOVÍ**



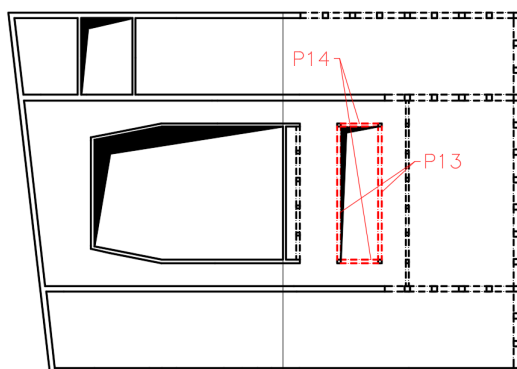
Obr. 5.24: Schéma výztuže

Průřez průvlaků P11 a P12 rozměrů 0,2 x 0,45 m bude vyztužen 3 ks Ø10 mm při horním povrchu a 2 ks Ø10 mm při dolním povrchu. Podélnou výztuž budou obepínat dvojstřížné třmínky Ø6 mm po 160 mm (viz. Obr. 5.24).

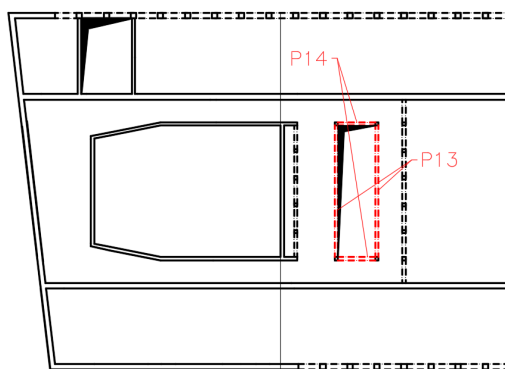
### 5.2.5. Průvlaky dvorany P13 a P14

Průvlaky jsou atypické svým uložením překonávající rozpon 12,5 m, jak je tomu u průvlaku P13 (viz. Obr. 5.25). Z tohoto důvodu bude provedeno i posouzení II. mezního stavu, konkrétně průhybu. Na průvlaky také působí velký kroutící moment, stejně jak je tomu u vnějších průvlaků.

1. NP



2. NP



Obr. 5.25: Umístění průvlaků v půdoryse



## Vnitřní síly

Vnitřní síly na průvlacích byly vypočteny pomocí programu Scia Engineer 15.3 a nabývají následujících hodnot (viz. *Obr. 5.26 a 5.27*):

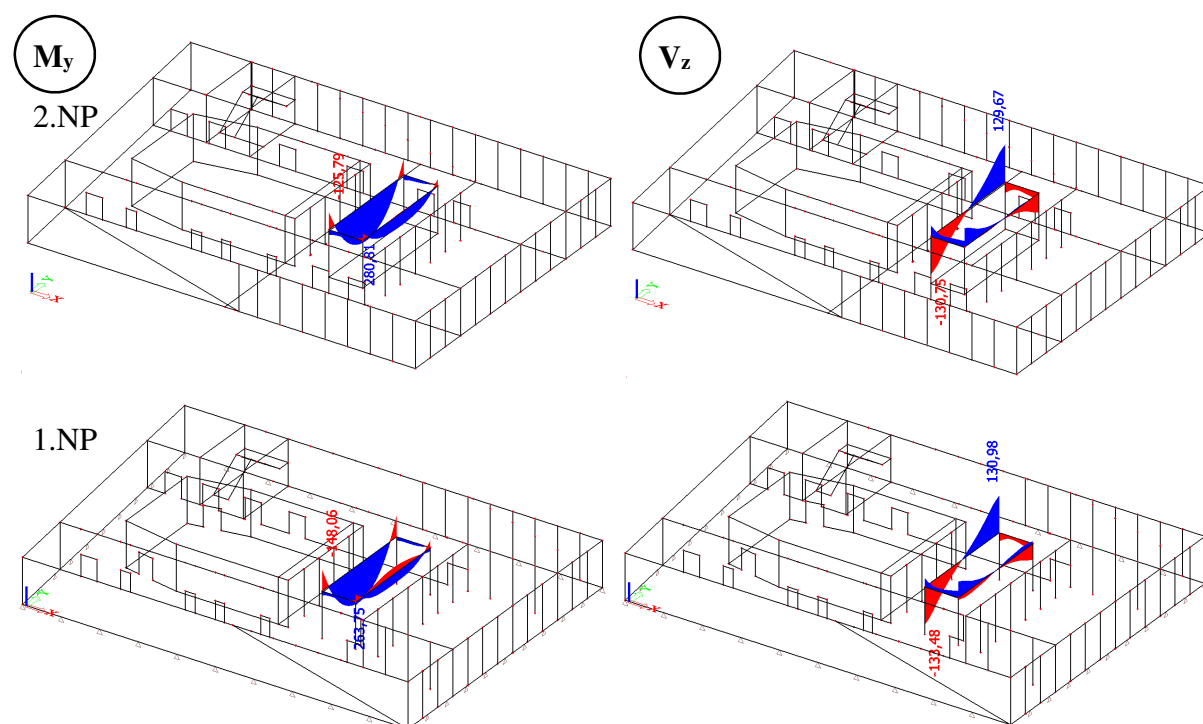
$$M_{Ed,y}^{-} = -148,06 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y}^{+} = 280,81 \text{ kNm}$$

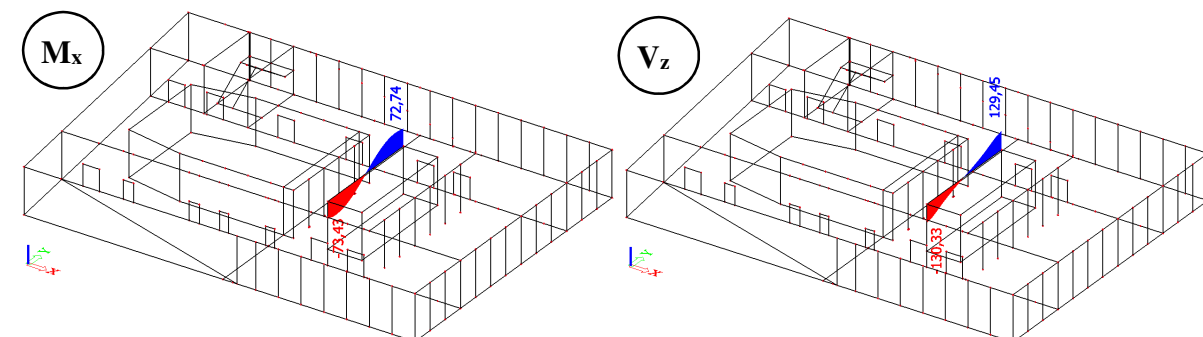
$$V_{Ed,z} = 133,48 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,x} = 73,43 \text{ kNm}$$

$$V_{přisl} = 130,33 \text{ kN}$$



*Obr. 5.26: Obálka ohybových momentů  $M_y$  a posouvajících sil  $V_z$*



*Obr. 5.27: Krouťící moment a příslušná posouvající síla*

Vyšší hodnoty vnitřních sil na průvlaku P11 ve 2.NP, rozhodujícími kombinacemi v tomto případě jsou:

- ohybový moment: vl. tíha + stálé + užité\_1 + vítr\_podélný–  
vl. tíha + stálé + užité\_2 + sníh + vítr\_příčný+
- posouvající síly: vl. tíha + stálé + užité\_1 + vítr\_příčný+
- kroutící moment: vl. tíha + stálé + užité\_1 + vítr\_podélný+

### Parametry vstupující do výpočtu

V Tab. 5.14 jsou uvedeny parametry průvlaků a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.14: Parametry průvlaků a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
délka průvlaku	$L_{P13}$	12,80	m
	$L_{P14}$	4,05	m
rozměry průvlaku	h	500	mm
	$b_w$	350	mm
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku $[f_{ck}]/[\gamma_c]$	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu $[f_{yk}]/[\gamma_s]$	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

**Krytí hlavní nosné výztuže**Krytí třmínkůpředpoklad:  $\varnothing_w = 8 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$
Krytí hlavní nosné výztužepředpoklad:  $\varnothing = 20 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(20 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(15; 20) = 20 \text{ mm}$$

toleranční zvětšení  $\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$ nominální krycí vrstva  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 5 = 25 \text{ mm}$ **Mezní stav únosnosti - ohyb**

- ohybový moment  $M_{Ed,y} = |-148,06| \text{ kNm}$

Návrhpředpoklad:  $\varnothing = 20 \text{ mm}$   
účinná výška průřezu

$$d_{min} = h - c_{nom,deska} - \varnothing_{deska,x} - \varnothing_{deska,y} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 500 - 25 - 10 - 8 - \frac{20}{2} = 447 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{148,06 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,447} = 846 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 846 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,02^2} = 2,7 \text{ ks}$$

**navrhuji: 3  $\varnothing 20 \text{ mm}$** 

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 3 \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} = 942 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

$$\begin{aligned}
 \text{síla ve výztuži} \quad F_s &= A_s \cdot f_{yd} = 942 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 409,77 \text{ kN} \\
 \text{výška tlačené oblasti} \quad x &= \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{409,77 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,35 \cdot 20 \cdot 10^6} = 73,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 \text{moment únosnosti} \quad M_{Rd} &= F_s (d_{\min} - 0,4x) = 409,77 (0,447 - 0,4 \cdot 73,2 \cdot 10^{-3}) = \\
 \text{průřezu} \quad &= 171,17 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_{Ed,y^-} = |-148,06| \text{ kNm} < M_{Rd} = 171,17 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**

- **ohybový moment  $M_{Ed,y^+} = 280,81 \text{ kNm}$**

Návrhpředpoklad:  $\varnothing = 20 \text{ mm}$ 

$$\text{účinná výška průřezu} \quad d_{\min} = h - c_{nom} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 500 - 25 - 8 - \frac{20}{2} = 457 \text{ mm}$$

$$\text{nutná plocha výztuže} \quad A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{280,81 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,457} = 1570 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{nutný počet prutů} \quad n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 1570 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,02^2} = 5 \text{ ks}$$

K výztuži na ohyb bude přidána výztuž na kroucení (2  $\varnothing 20 \text{ mm}$ ), což znamená, že v průřezu by bylo umístěno až 7 prutů v jedné řadě. Protože tento počet prutů hraničí se splnitelností konstrukčních zásad, bylo přistoupeno k vyztužení ve dvou řadách.

Posouzení

$$\text{účinná výška 1. řady prutů} \quad d_1 = d = 457 \text{ mm}$$

$$\text{účinná výška 2. řady prutů} \quad d_2 = 457 - 78 = 379 \text{ mm}$$

$$\text{počet prutů 1. řady} \quad n_1 = 4 \text{ ks}$$

$$\text{počet prutů 2. řady} \quad n_2 = 2 \text{ ks}$$

$$\text{plocha výztuže 1. řady} \quad A_{s,1} = n_1 \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 4 \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} = 1257 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{plocha výztuže 2. řady} \quad A_{s,2} = n_2 \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 2 \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} = 628 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{síla ve výztuži 1. řady} \quad F_{s,1} = A_{s,1} \cdot f_{yd} = 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 546,36 \text{ kN}$$

$$\text{síla ve výztuži 2. řady} \quad F_{s,2} = A_{s,2} \cdot f_{yd} = 628 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 273,18 \text{ kN}$$

$$\text{výška tlačené oblasti} \quad x = \frac{F_{s,1} + F_{s,2}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{(546,36 + 273,18) \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,35 \cdot 20 \cdot 10^6} = 146,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

síla v betonu  $F_c = 0,8x b_w f_{cd} = 0,8 \cdot 146,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,35 \cdot 20 \cdot 435 \cdot 10^3 = 819,55 \text{ kN}$

moment únosnosti průřezu  $M_{Rd} = F_{s,1} d_1 + F_{s,2} d_2 - F_c 0,4x =$   
 $= 546,36 \cdot 0,457 + 273,18 \cdot 0,379 - 819,55 \cdot 0,4 \cdot 0,1463 =$   
 $= 305,25 \text{ kNm}$

$M_{Ed,y} = 280,81 \text{ kNm} < M_{Rd} = 305,25 \text{ kNm}$  **VYHOVÍ**

- **kotevní délka**

pro  $\varnothing = 20 \text{ mm}$ :

návrhová pevnost betonu v tahu  $f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$

návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti  $f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$

základní kotevní délka  $l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{20 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 725 \text{ mm}$

kotevní délka  $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 725 =$   
 $= 725 \text{ mm}$

**volím:  $l_{bd} = 730 \text{ mm}$**

minimální kotevní délka  $l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) =$   
 $= \max(0,3 \cdot 725,5; 10 \cdot 20; 100 \text{ mm}) = 217,5 \text{ mm}$

$l_{bd} = 730 \text{ mm} > l_{b,min} = 218 \text{ mm}$  **VYHOVÍ**

### Mezní stav únosnosti - smyk

- **posouvající síla  $V_{Ed,z} = 133,48 \text{ kNm}$**

Posouzení smykové únosnosti bez smykové výztuže

stupeň vyztužení  $\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{942 \cdot 10^{-6}}{0,35 \cdot 0,459} = 4,1 \cdot 10^{-3} < 0,02$  **OK**

ostatní parametry vstupující do výpočtu  $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$

$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{457}} = 1,66 < 2,0$  **OK**

max. návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže  $V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \right] b_w d =$   
 $= \left[ 0,12 \cdot 1,66 (100 \cdot 4,1 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} \right] 0,35 \cdot 0,457 =$   
 $= 73,75 \text{ kN}$

minimální únosnost  
betonu

$$v_{\min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,66^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 410,04 \text{ kPa}$$

$$V_{Rd,\min} = v_{\min} b_w d = 410,04 \cdot 0,35 \cdot 0,459 = 65,87 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 73,75 \text{ kN} > V_{Rd,\min} = 65,87 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 133,48 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 73,75 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**  
**NEVYHOVÍ**

$\Rightarrow$  nutno navrhnout smykovou  
výztuž

#### Posouzení smykové únosnosti se smykovou výztuží

osová vzdálenost třmínek  $s_l = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,459 = 0,344 \text{ m}$   
(dle k-čnických zásad)

**navrhují: dvojstřížné Ø8 /200 mm**

plocha třmínek

$$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_w^2}{4} = 2 \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 101 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,457 = 0,411 \text{ m}$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

návrhová smyková síla  
s výztuží

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &= A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta \frac{1}{s_l} = \\ &= 101 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,411 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{0,2} = \\ &= 155,69 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,s} = 155,69 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 133,48 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**

#### Maximální smyková únosnost betonu

součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,457 = 0,411 \text{ m}$$

maximální smyková  
únosnost

$$\begin{aligned} V_{Rd,\max} &= v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} = \\ &= 0,528 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 0,35 \cdot 0,411 \frac{1}{\cot 30^\circ + \tan 30^\circ} = \\ &= 658,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,\max} = 658,25 \text{ kN} > V_{Rd,s} = 155,69 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**

**Mezní stav únosnosti – kroucení**

- **kroucí moment  $M_{Ed,x} = 73,43$  kNm a příslušná posouvající síla  $V_{přísl} = 130,33$  kN**

Průřezové charakteristiky

plný průřez

$$b = 0,35 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

$$A = b \cdot h = 0,35 \cdot 0,5 = 0,175 \text{ m}^2$$

$$u = 2(b + h) = 2(0,35 + 0,5) = 1,7 \text{ m}$$

dutý průřez

$$t_{ef} = \frac{A}{u} = \frac{0,175}{1,7} = 0,103 \text{ m}$$

$$b_k = b - t_{ef} = 0,35 - 0,103 = 0,247 \text{ m}$$

$$h_k = h - t_{ef} = 0,5 - 0,103 = 0,397 \text{ m}$$

$$A_k = b_k \cdot h_k = 0,247 \cdot 0,397 = 0,098 \text{ m}^2$$

$$u_k = 2(b_k + h_k) = 2(0,247 + 0,397) = 1,29 \text{ m}$$

Posouzení únosnosti v kroucení bez výztuženávrhový kroucí  
moment betonu

$$T_{Rd,c} = 2A_k t_{ef} f_{ctd} = 2 \cdot 0,098 \cdot 0,103 \cdot \frac{2,0}{1,5} 10^3 = 26,93 \text{ kNm}$$

$$T_{Rd,c} = 26,93 \text{ kNm} < T_{Ed} = 73,43 \text{ kNm}$$

**NEVYHOVÍ** $\Rightarrow$  nutno navrhovat výztuž na krouceníPosouzení tlačných diagonál

součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

návrhový kroucí

moment betonu na mezi  
únosnosti

$$\begin{aligned} T_{Rd,max} &= 2 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta = \\ &= 2 \cdot 0,528 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,098 \cdot 0,103 \cdot \sin 30^\circ \cdot \cos 30^\circ = \\ &= 92,35 \text{ kNm} \end{aligned}$$

posouzení tlačných diagonál:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} < 1$$

$$\frac{130,33}{661,13} + \frac{73,43}{92,35} < 1$$

$$0,20 + 0,79 < 1$$

$$0,99 < 1$$

**VYHOVÍ**

Posouzení únosnosti v kroucení s výztuží

přídavné svislé třmínky

**volím: dvojstřížné Ø8 mm**

plocha jednoho třmínku

$$A_{swt} = n \frac{\pi \varnothing_{wt}^2}{4} = 2 \frac{\pi 0,008^2}{4} = 101 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

minimální vzdálenost  
třmínků

$$T_{Rd,st} = A_{swt} \cdot f_{ywd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \frac{1}{s_{wt}}$$

$$\Rightarrow s_{wt} = A_{swt} \cdot f_{ywd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \frac{1}{T_{Ed}} =$$

$$= 101 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 2 \cdot 0,098 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{73,43 \cdot 10^3} = 0,202 \text{ m}$$

**navrhuji: dvojstřížné Ø8 mm/100 mm**návrhová krouticí síla  
s výztuží

$$T_{Rd,st} = A_{swt} \cdot f_{ywd} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \frac{1}{s_{wt}} =$$

$$= 101 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 2 \cdot 0,098 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{0,1} = 148,53 \text{ kNm}$$

návrhová smyková síla  
s výztuží

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta \frac{1}{s_l} =$$

$$= 101 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,411 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{0,1} =$$

$$= 311,38 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,s}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,st}} < 1$$

$$\frac{130,33}{311,38} + \frac{73,43}{148,53} < 1$$

$$0,42 + 0,49 < 1$$

$$\mathbf{0,91 < 1}$$

**VYHOVÍ**přídavná podélná výztuž  
nutná plocha přídavné  
výztuže

$$T_{Rd,sl} = \Sigma A_{sl} \cdot f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k \frac{1}{u_k \cot \theta}$$

$$\Rightarrow \Sigma A_{sl} = \frac{T_{Ed} u_k \cot \theta}{f_{ywd} \cdot 2 \cdot A_k} =$$

$$= \frac{73,43 \cdot 10^3 \cdot 1,29 \cdot \cot 30^\circ}{435 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 0,098} = 1921 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

plocha na jednotku délky  
obvodu

$$A_{sl,i} = \frac{\Sigma A_{sl}}{u_k} = \frac{1921 \cdot 10^{-3}}{1,29} = 1491 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

výztuž na kroucení  
na délku dolní části  
průřezu

$$A_{sl,1} = A_{sl,i} u_{sl,1} = 1491 \cdot 10^{-6} \cdot 0,326 = 487 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$



nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,1}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 487 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,02^2} = 1,6 \text{ ks}$$

**volím: 2 Ø20 mm** (kroucení)výztuž na kroucení  
na délku horní části  
průřezu

$$A_{sl,2} = A_{sl,i} u_{sl,2} = 1491 \cdot 10^{-6} \cdot 0,326 = 487 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

celková výztuž dolní

$$A_{s,2} = A_{sl,2} + A_{s,nut-} = (487 + 843) \cdot 10^{-6} = 1330 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,2}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 1330 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,02^2} = 4,2 \text{ ks}$$

**volím: 5 Ø20 mm** (kroucení+ohyb)výztuž na kroucení  
v ostatní části průřezu

$$A_{sl,3} = A_{sl,i} (u_k - u_{sl,1} - u_{sl,2}) = \\ = 1491 \cdot 10^{-6} \cdot (1,29 - 0,326 - 0,326) = 947 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,3}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 947 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,02^2} = 4,7 \text{ ks}$$

**volím: 6 Ø20 mm** (kroucení)**Konstrukční zásady****• ohybová výztuž**

omezení množství výztuže

$$a_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x \right\} = \max \left\{ 0,26 \frac{2,9}{500} 0,35 \cdot 0,449 \right\} = \max \left\{ \frac{237 \cdot 10^{-6}}{204 \cdot 10^{-6}} \right\} = \\ = 237 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 0,35 \cdot 0,5 = 7000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,min} = 226 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 5027 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (16 Ø20 mm)}$$

**VYHOVÍ**

$$a_{s,max} = 7000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 5969 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (19 Ø20 mm)}$$

**VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti (pro 5 Ø20 mm)

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,146}{0,449} = 0,325 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

**VYHOVÍ**

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 500; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - \varnothing}{n - 1} = \frac{350 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 6 - 20}{4 - 1} = 89,3 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 250 \text{ mm} > s_{sv,skut} = 89,3 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

minimální světlá vzdálenost

$$s_{\min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 20; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 24 \text{ mm}$$

$$s_{os,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - n\varnothing}{n-1} = \frac{350 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 6 - 6 \cdot 20}{7-1} = 32,8 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 24 \text{ mm} < s_{x,3} = 32,8 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

• **třmínky**

minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{swt} = \frac{A_{swt}}{s_l b_w \sin \alpha} = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 0,35 \cdot \sin 90^\circ} = 2,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{w,\min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,88 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{swt} = 2,9 > \rho_{w,\min} = 0,88$$

**VYHOVÍ**

maximální osová vzdálenost mezi větvemi třmínku

$$s_{t,\max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,449 = 0,336 \text{ m} > s_{t,skut} = 0,292 \text{ m}$$

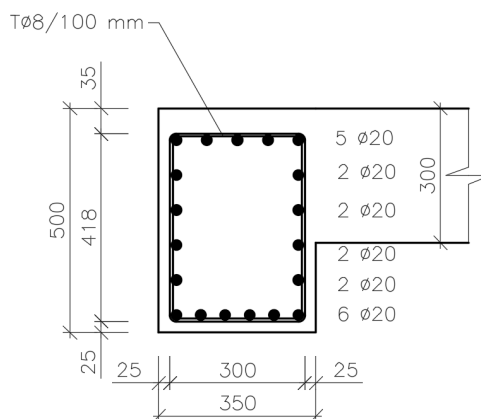
**VYHOVÍ**

maximální osová vzdálenost mezi třmínky

$$s_{l,\max} = \min(0,75 d; u/8; b_w) = \min(0,336; 1,7/8; 0,35) = 0,213 \text{ m}$$

$$s_{l,\max} = 0,213 \text{ m} > s_{l,skut} = 0,1 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**



Obr. 5. 28: Schéma výztuže v řezu

Průřez průvlaků dvorany rozměrů 0,35 x 0,5 m bude vyztužen 6 ks Ø20 mm v poli při dolním povrchu. Při horním povrchu budou po celé délce průvlaků vždy 2 ks Ø20 mm a v podporách

5 ks Ø20 mm, dále po stranách průřezu 4 ks Ø20 (na každé straně). Primární výztuží proti kroucení bude dvojstrážný třmínek Ø8 mm po 100 mm (viz. Obr. 5.28).

### Mezní stav použitelnosti – omezení průhybu

efektivní rozpětí desky

$$l_{eff} = 12,5 + 2 \cdot 0,15 = 12,8 \text{ m}$$

uložení na sloupy tl. 300 mm

součinitel

$$K = 1,5$$

požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{1571 \cdot 10^{-6}}{0,35 \cdot 0,459} = 9,8 \cdot 10^{-3}$$

referenční stupeň vyztužení

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

podmínka:

$$\rho > \rho_0$$

**OK**

požadovaný stupeň vyztužení tlakovou výztuží  $\rho' = 0$

$$\Rightarrow l/d = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \frac{7}{l_{eff}} =$$

$$= 1,5 \left[ 11 + 1,5 \sqrt{30} \frac{5,48}{9,8 - 0} + \frac{1}{12} \sqrt{30} \sqrt{\frac{0}{9,8}} \right] \frac{7}{12,8} = 23,37$$

maximální poměr

$$\left( \frac{l}{d} \right)_{\max} = \frac{12,8}{0,459} = 28,01$$

posouzení:

$$\left( \frac{l}{d} \right)_{\max} = 28,01 > l/d = 23,37$$

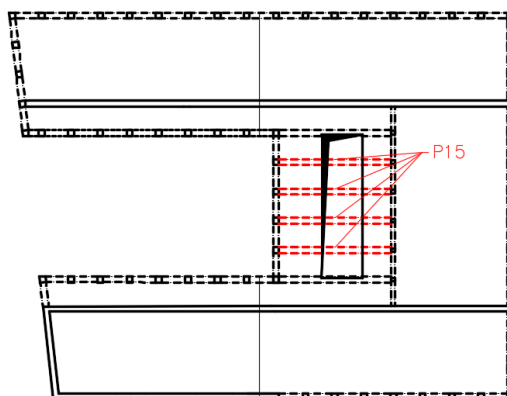
**VYHOVÍ**

$\Rightarrow$  není nutné ověření průhybu výpočtem

### 5.2.6. Průvlaky prosklené střechy P15

Průvlaky se nachází ve 3. NP jako součást prosklené střechy nad dvoranou. Tyto průvlaky jsou uloženy na sloupy 3. NP (viz. *Obr. 5.29*). Vzhledem k velkému rozponu průvlaků bude provedeno posouzení na II. mezní stav.

3. NP



*Obr. 5.29: Umístění průvlaků v půdoryse*

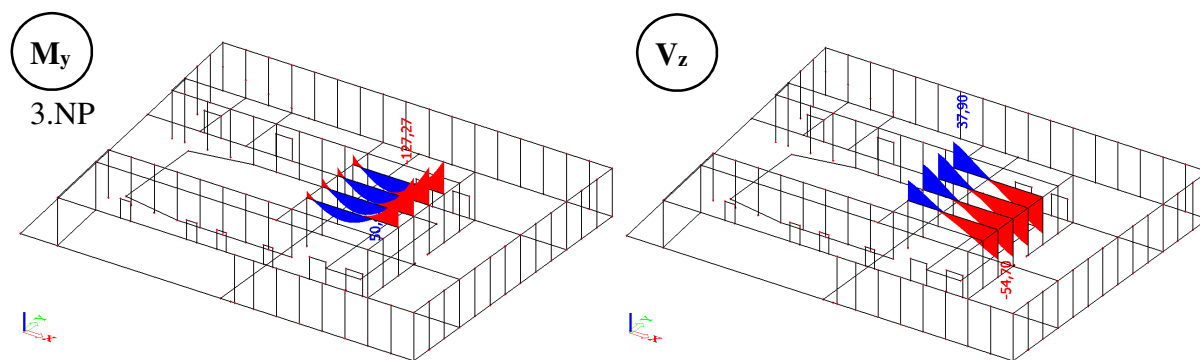
#### Vnitřní síly

Vnitřní síly na průvlacích byly vypočteny pomocí programu Scia Engineer 15.3 a nabývají následujících hodnot (viz. *Obr. 5.30*):

$$M_{Ed,y}^- = -127,27 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y}^+ = 50,43 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,z} = 54,70 \text{ kN}$$



*Obr. 5.30: Obálka vnitřních sil*

Rozhodujícími kombinacemi jsou:

- ohybový moment: vl. tíha + stálé + užitné<sub>2</sub> + sníh + vítr<sub>podélný</sub>–  
vl. tíha + stálé + užitné<sub>3</sub> + sníh + vítr<sub>příčný</sub>–
- posouvající síly: vl. tíha + stálé + sníh + vítr<sub>příčný</sub>–

### Parametry vstupující do výpočtu

V Tab. 5.15 jsou uvedeny parametry průvleků a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.15: Parametry průvleků a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
délka průvleku	$L_{P15}$	10,40	m
rozměry průvleku	h	450	mm
	$b_w$	200	mm
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku $[f_{ck}]/[\gamma_c]$	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu $[f_{yk}]/[\gamma_s]$	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

### Krytí hlavní nosné výztuže

#### Krytí třmínků

předpoklad:  $\varnothing_w = 8 \text{ mm}$

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

### Krytí hlavní nosné výztuže

předpoklad:  $\varnothing = 20 \text{ mm}$

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(20 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(15; 20) = 20 \text{ mm}$$

toleranční zvětšení

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$$

nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 5 = 25 \text{ mm}$$

### **Mezní stav únosnosti - ohyb**

- **ohybový moment  $M_{Ed,y} = |-127,27| \text{ kNm}$**

#### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 20 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{min} = h - c_{nom,deska} - \varnothing_{deska,x} - \varnothing_{deska,y} - \varnothing_{w,P11} - \varnothing_{P11} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 450 - 25 - 10 - 10 - 8 - 10 - 8 - \frac{20}{2} = 369 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{127,27 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,373} = 872 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 872 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,02^2} = 2,8 \text{ ks}$$

**navrhují: 3  $\varnothing 20 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 3 \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} = 942 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

#### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 942 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 409,77 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{409,77 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 128,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti průřezu

$$M_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 409,77 (0,369 - 0,4 \cdot 128,1 \cdot 10^{-3}) = 130,22 \text{ kNm}$$

$M_{Ed,y^-} = |-127,27| \text{ kNm} < M_{Rd} = 130,22 \text{ kNm}$  **VYHOVÍ**

- **ohybový moment  $M_{Ed,y^+} = 50,43 \text{ kNm}$**

#### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 450 - 25 - 8 - \frac{10}{2} = 412 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{50,43 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,412} = 311 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

nutný počet prutů

$$n_{req} = \frac{4 A_{s,req}}{\pi \varnothing^2} = \frac{4 \cdot 311 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,01^2} = 3,9 \text{ ks}$$

**navrhují: 4  $\varnothing 10 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$A_s = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 4 \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 314 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

#### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = A_s f_{yd} = 314 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 136,59 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{136,59 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 42,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

moment únosnosti průřezu

$$M_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 136,59 (0,412 - 0,4 \cdot 42,7 \cdot 10^{-3}) = 54,22 \text{ kNm}$$

$M_{Ed,y^+} = 50,43 \text{ kNm} < M_{Rd} = 54,22 \text{ kNm}$  **VYHOVÍ**

- **konstrukční zásady**

omezení množství výztuže

$$a_{s,\min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x, 0,0013 b \cdot d_x \right\} = \max \left\{ 0,26 \frac{2,9}{500} 0,2 \cdot 0,412, 0,0013 \cdot 0,2 \cdot 0,412 \right\} = \max \left\{ 125 \cdot 10^{-6}, 108 \cdot 10^{-6} \right\} = 125 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,\max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 0,45 = 3600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$a_{s,\min} = 125 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 314 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  **VYHOVÍ**

$a_{s,\max} = 3600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 314 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  **VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,128}{0,373} = 0,343 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617 \quad \text{VYHOVÍ}$$

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{\max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 450; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{sv,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - \varnothing}{n - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 20}{3 - 1} = 57 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 250 \text{ mm} > s_{sv,skut} = 57 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

minimální světlá vzdálenost

$$s_{\min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{os,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - n\varnothing}{n - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 4 \cdot 10}{4 - 1} = 31,3 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 31,3 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

#### • kotevní délka

pro  $\varnothing = 10 \text{ mm}$ :

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{10 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 362,5 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 362,5 = 362,5 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 370 \text{ mm}$**

minimální kotevní délka

$$l_{b,\min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 362,5; 10 \cdot 10; 100 \text{ mm}) = 108,75 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 370 \text{ mm} > l_{b,\min} = 109 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

pro  $\varnothing = 20 \text{ mm}$ :

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$



návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti	$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$
základní kotevní délka	$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{20}{4} \frac{435}{3} = 725 \text{ mm}$
kotevní délka	$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 725 = 725 \text{ mm}$
<b>volím: <math>l_{bd} = 730 \text{ mm}</math></b>	
minimální kotevní délka	$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 725, 5; 10 \cdot 20; 100 \text{ mm}) = 217,5 \text{ mm}$
<b><math>l_{bd} = 730 \text{ mm} &gt; l_{b,min} = 218 \text{ mm}</math></b>	<b>VYHOVÍ</b>

**Mezní stav únosnosti - smyk**

- posouvající síla  $V_{Ed,z} = 54,70 \text{ kNm}$

Posouzení smykové únosnosti bez smykové výztuže

stupeň vyztužení	$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{942 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 0,369} = 5,6 \cdot 10^{-3} < 0,02$	<b>OK</b>
ostatní parametry vstupující do výpočtu	$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$	
	$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{369}} = 1,73 < 2,0$	<b>OK</b>
max. návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže	$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \right] b_w d = \left[ 0,12 \cdot 1,73 (100 \cdot 5,6 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} \right] 0,2 \cdot 0,373 = 39,74 \text{ kN}$	
minimální únosnost betonu	$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,73^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 437,06 \text{ kPa}$ $V_{Rd,min} = v_{min} b_w d = 437,06 \cdot 0,2 \cdot 0,369 = 32,60 \text{ kN}$	
<b><math>V_{Rd,c} = 39,74 \text{ kN} &gt; V_{Rd,min} = 32,60 \text{ kN}</math></b>		<b>VYHOVÍ</b>
<b><math>V_{Rd,c} = 39,74 \text{ kN} &lt; V_{Ed,z} = 54,70 \text{ kN}</math></b>		<b>NEVYHOVÍ</b>
	$\Rightarrow$ nutno navrhnout smykovou výztuž	

Posouzení smykové únosnosti se smykovou výztuží

osová vzdálenost třmínek (dle k-čních zásad)	$s_l = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,369 = 0,280 \text{ m}$
<b>navrhuji: dvojstřížné <math>\varnothing 8 / 270 \text{ mm}</math></b>	
plocha třmínek	$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_w^2}{4} = 2 \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 101 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

rameno vnitřních sil  $z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,369 = 0,336 \text{ m}$

úhel tlačných diagonál  $\theta = 30^\circ$

návrhová smyková síla  
s výztuží

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta \frac{1}{s_l} =$$

$$= 101 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,336 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{0,27} =$$

$$= 93,12 \text{ kN}$$

**$V_{Rd,s} = 93,12 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 54,70 \text{ kN}$**

**VYHOVÍ**

#### Maximální smyková únosnost betonu

součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

úhel tlačných diagonál

$\theta = 30^\circ$

rameno vnitřních sil

$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,369 = 0,336 \text{ m}$

maximální smyková  
únosnost

$$V_{Rd,max} = v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} =$$

$$= 0,528 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 0,336 \frac{1}{\cot 30^\circ + \tan 30^\circ} =$$

$$= 307,01 \text{ kN}$$

**$V_{Rd,max} = 307,01 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 54,7 \text{ kN}$**

**VYHOVÍ**

#### • konstrukční zásady

maximální osová vzdálenost mezi větvemi třmínku

$$s_{t,max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,373 = 0,28 \text{ m}$$

$$s_{t,skut} = b_w - 2c_{nom} - \varnothing_w = 200 - 2 \cdot 25 - 8 = 142 \text{ mm}$$

**$s_{t,max} = 0,28 \text{ m} < s_{t,skut} = 0,142 \text{ m}$**

**VYHOVÍ**

maximální osová vzdálenost mezi třmínky

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 0,373 (1 + \cot 90^\circ) = 0,28 \text{ m}$$

**$s_{l,max} = 0,28 \text{ m} > s_{l,skut} = 0,27 \text{ m}$**

**VYHOVÍ**

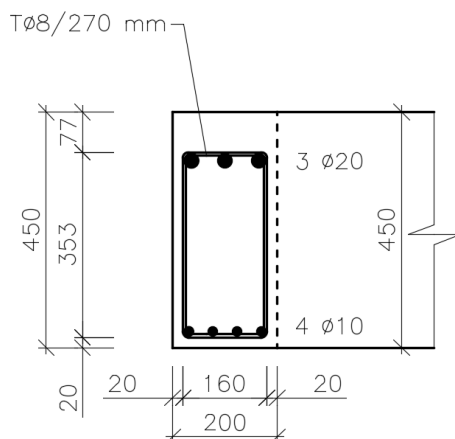
minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{swt} = \frac{A_{swt}}{s_l b_w \sin \alpha} = \frac{101 \cdot 10^{-6}}{0,27 \cdot 0,2 \cdot \sin 90^\circ} = 1,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,88 \cdot 10^{-3}$$

**$\rho_{swt} = 1,9 > \rho_{w,min} = 0,88$**

**VYHOVÍ**



Obr. 5.31: Schéma výztuže

Průřez prvků P15 rozměrů 0,2 x 0,45 m bude vyztužen 3 ks Ø20 mm při horním povrchu a 4 ks Ø10 mm při dolním povrchu. Podélnou výztuž budou obepínat dvojstřížné třmínky Ø8 mm po 250 mm (viz. Obr. 5.31).

### Mezní stav použitelnosti – omezení průhybu

efektivní rozpětí desky

$$l_{eff} = 10 + 2 \cdot 0,1 = 10,2 \text{ m}$$

uložení na sloupy tl. 500 mm

$$K = 1,5$$

součinitel

stupeň vyztužení tahovou výztuží ve  
středu rozpětí

$$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{b d_x} = \frac{314 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 0,412} = 3,8 \cdot 10^{-3}$$

referenční stupeň vyztužení

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \sqrt{30} = 5,48 \cdot 10^{-3}$$

podmínka:

$$\rho_x < \rho_0$$

**OK**

$$\Rightarrow \frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho_x} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_x} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \frac{8,5}{l_{eff}} =$$

$$= 1,5 \left[ 11 + 1,5 \sqrt{30} \frac{5,48}{3,8} + 3,2 \sqrt{30} \left( \frac{5,48}{3,8} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \frac{7}{10,2} = 19,25$$

maximální poměr

$$\left( \frac{l}{d} \right)_{\max} = \frac{10,2}{0,414} = 24,64$$

posouzení:

$$\left( \frac{l}{d} \right)_{\max} = 24,64 > \frac{l}{d} = 19,25$$

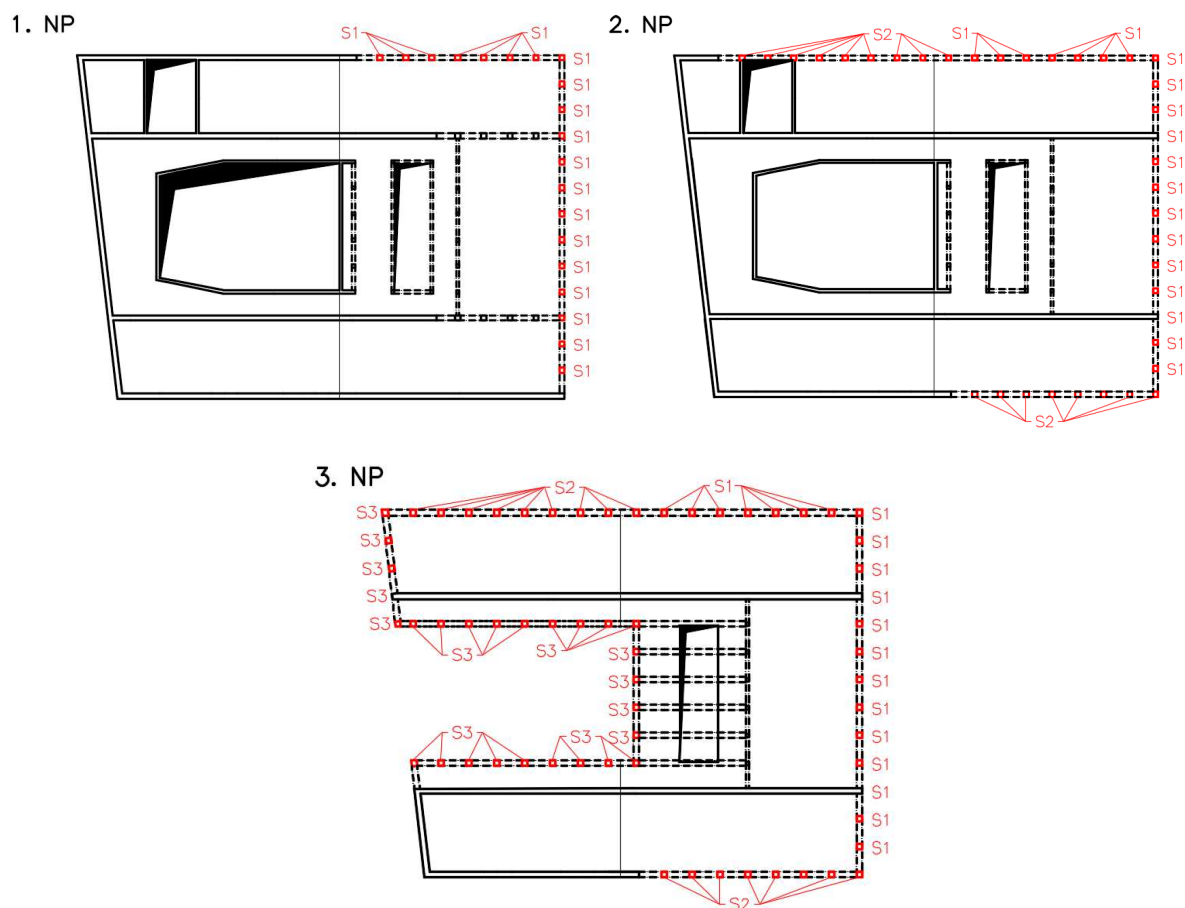
**VYHOVÍ**

$\Rightarrow$  není nutné ověření průhybu výpočtem

## 5.3. Sloupy

### 5.3.1. Vnější sloupy S1, S2 a S3

Sloupy, jež tvoří obvod budovy, budou zatíženy dvouosým ohybem v kombinaci s normálovou silou (viz. Obr. 5.32).



Obr. 5.32: Umístění sloupů v půdoryse

### Vnitřní síly

Vnitřní síly na sloupech byly vypočteny pomocí programu Scia Engineer 15.3 a nabývají následujících hodnot (viz. Obr. 5.33 až 5.35):

$$N_{\max} = -633,84 \text{ kN}$$

$$M_{y,\text{přisl}} = 97,49 \text{ kNm}$$

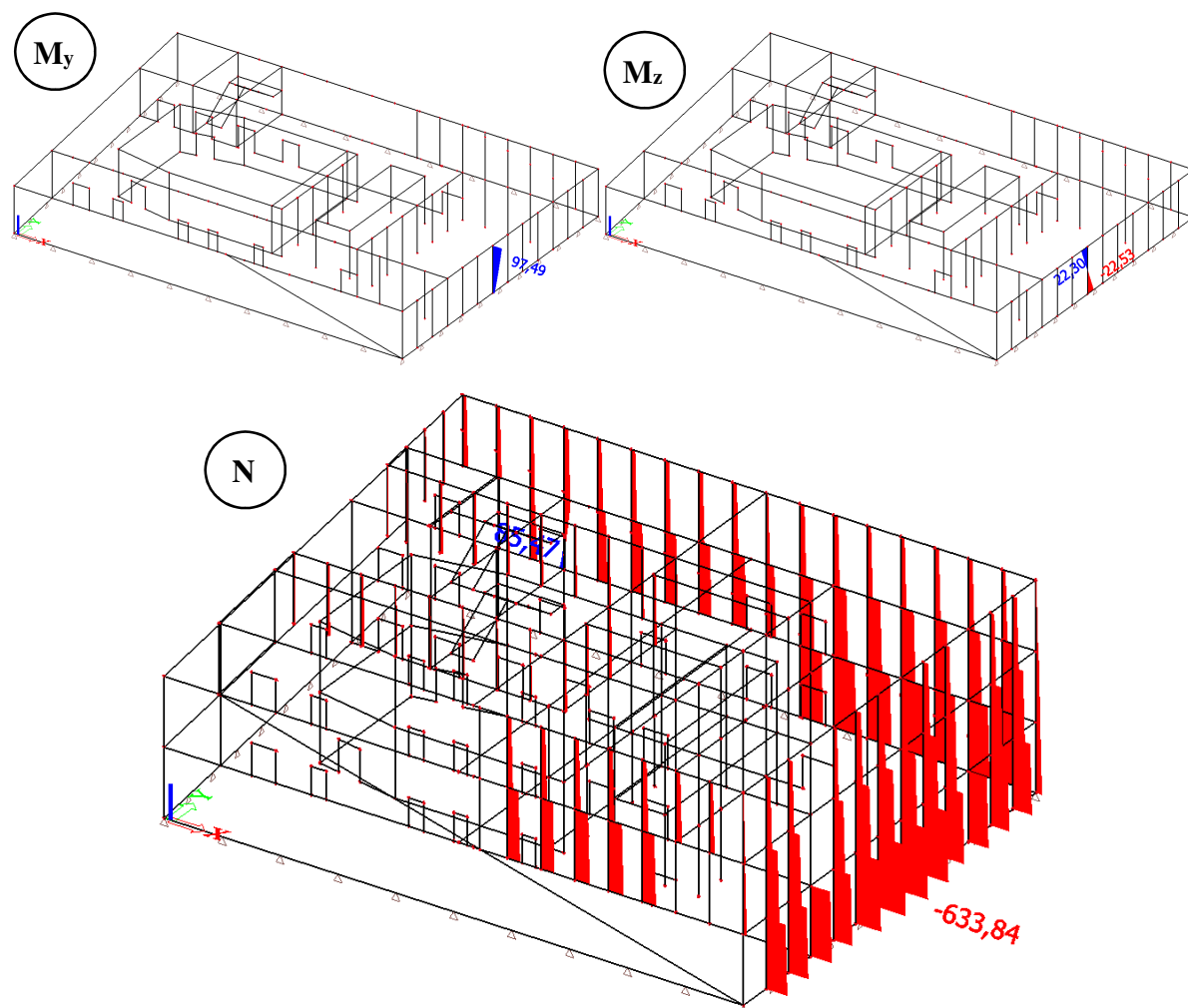
$$M_{z,\text{přisl}} = |-22,53| \text{ kNm}$$

$$M_{y,\max} = 158,22 \text{ kNm}$$

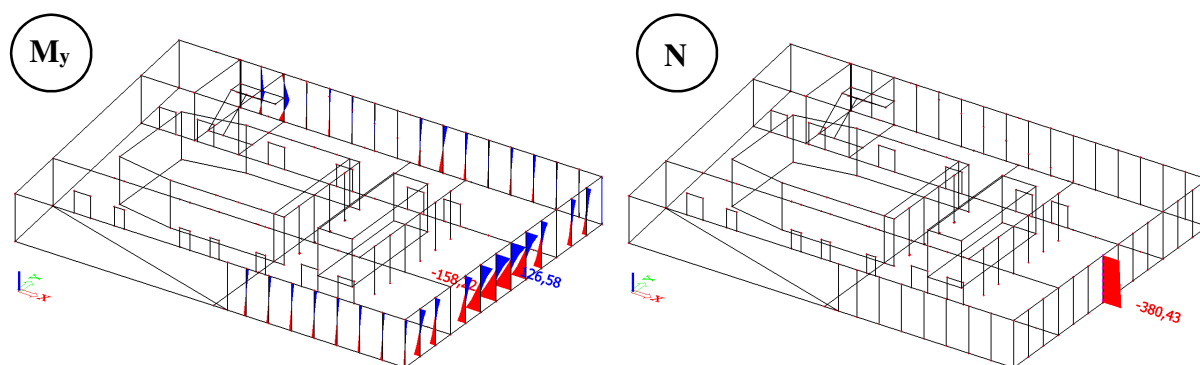
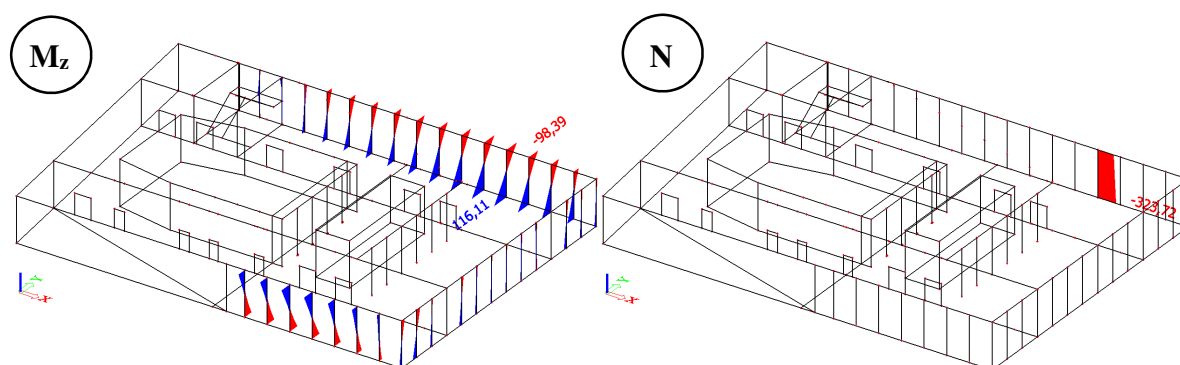
$$N_{\text{přisl}} = -380,43 \text{ kN}$$

$$M_{z,\max} = 116,11 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{přisl}} = -323,72 \text{ kN}$$



Obr. 5.33: Vykreslení vnitřních sil pro  $N_{\max}$

Obr. 5.34: Vykreslení vnitřních sil pro  $M_{y,max}$ Obr. 5.35: Vykreslení vnitřních sil pro  $M_{z,max}$ 

Rozhodujícími kombinacemi pro maximální hodnoty jsou:

- normálová síla: vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sníh + vítr\_příčný–
- ohybový moment  $M_y$ : vl. tíha + stálé + užitné\_3 + sníh + vítr\_podélný–
- ohybový moment  $M_x$ : vl. tíha + stálé + užitné\_1 + vítr\_podélný+

### Parametry vstupující do výpočtu

V Tab. 5.16 jsou uvedeny parametry sloupů a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.16: Parametry sloupů a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
délka sloupu	L	5,0	m
celková délka	L <sub>S1</sub>	15,0	m
	L <sub>S2</sub>	10,0	m
	L <sub>S3</sub>	5,0	m
rozměry sloupu	h	500	mm
	b	500	mm
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku [ $f_{ck}$ ]/[ $\gamma_c$ ]	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu [ $f_{yk}$ ]/[ $\gamma_s$ ]	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

**Krytí hlavní nosné výztuže**Krytí třmínkůpředpoklad:  $\varnothing_w = 8 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$
Krytí hlavní nosné výztužepředpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(16 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 16 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(15; 16) = 16 \text{ mm}$$

toleranční zvětšení

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$$

nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 9 = 25 \text{ mm}$$

### Mezní stav únosnosti – dvouosý ohyb a normálová síla

- směr y:  $N_{max} = -633,84 \text{ kN}$   $M_{max} = -158,22 \text{ kNm}$   
 $M_{přísl} = 97,49 \text{ kNm}$   $N_{přísl} = -380,43 \text{ kN}$

#### Vstupní parametry

**navrhují: 4 Ø16 mm** (při horním i dolním povrchu)

vzdálenost výztuže  
od okraje sloupu

$$d_1 = h - c_{nom} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 500 - 25 - 8 - \frac{16}{2} = 461 \text{ mm}$$

$$d_2 = c_{nom} + \varnothing_w + \frac{\varnothing}{2} = 25 + 8 + \frac{16}{2} = 39 \text{ mm}$$

rameno vnitřních sil

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{500}{2} - 39 = 211 \text{ mm}$$

plocha betonu

$$A_c = h \cdot b = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m}^2$$

plocha výztuže

$$A_{s,1} = A_{s,2} = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 4 \frac{\pi 0,016^2}{4} = 804 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

síly ve výztuži

$$F_{s,1} = F_{s,2} = A_{s,i} \cdot f_{yd} = 804 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 349,67 \text{ kN}$$

#### Ověření štíhlosti

a) pro kombinaci  $N_{max}$ ,  $M_{přísl}$

– skutečná štíhlost

účinná délka

$$L_0 = \beta L_{S1} = 0,85 \cdot 5,0 = 4,25 \text{ m}$$

moment setrvačnosti

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,5^4}{12} = 52,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{52,1 \cdot 10^{-4}}{0,25}} = 0,144 \text{ m}$$

skutečná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{4,25}{0,144} = 29,44$$

– limitní štíhlost

mechanický stupeň

výztužení

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = \frac{804 \cdot 435}{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,0699$$



poměr momentů	$M_{01} = 18,14 \text{ kNm (pata)}$ $M_{02} = 97,49 \text{ kNm (hlava)}$ $r_m = \frac{M_{02}}{M_{01}} = \frac{97,49}{18,14} = 0,186$
poměrná normálová síla	$n = \frac{ N_{Ed} }{A_c f_{cd}} = \frac{ -633,84 }{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,127$
součinitelé	$A = 0,7$ $B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,0699} = 1,07$ $C = 1,7 - r_m = 1,7 - 0,186 = 1,51$
limitní štíhlost	$\lambda_{lim} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,07 \cdot 1,51}{\sqrt{0,127}} = 63,56$
<b><math>\lambda = 29,4 &lt; \lambda_{lim} = 63,56</math></b>	

**VYHOVÍ**b) pro kombinaci  $M_{max}$ ,  $N_{přisl}$ 

– skutečná štíhlost

účinná délka

$$L_0 = \beta L_{S1} = 0,85 \cdot 5,0 = 4,25 \text{ m}$$

moment setrvačnosti

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,5^4}{12} = 52,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{52,1 \cdot 10^{-4}}{0,25}} = 0,144 \text{ m}$$

skutečná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{4,25}{0,144} = 29,44$$

– limitní štíhlost

mechanický stupeň

vyztužení

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = \frac{804 \cdot 435}{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,0699$$

poměr momentů

$$M_{01} = -158,22 \text{ kNm (pata)}$$

$$M_{02} = 118,04 \text{ kNm (hlava)}$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{-158,22}{118,04} = -0,746$$

poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c f_{cd}} = \frac{|-380,43|}{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,076$$

součinitelé

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,0699} = 1,07$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 + 0,746 = 2,45$$

limitní štíhlost

$$\lambda_{lim} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,07 \cdot 2,45}{\sqrt{0,076}} = 133,1$$

 **$\lambda = 29,4 < \lambda_{lim} = 133,1$** **VYHOVÍ**

Dle podmínek štíhlosti se nejedná o štíhlé sloupy v žádné z kombinací, což znamená, že nemusí být uvažován přídatný ohybový moment od II. řádu.

Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed,max} = N_{max} = -633,84 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,přisl} = M_{přisl} = 97,49 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = M_{max} = -158,22 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,přisl} = N_{přisl} = -380,43 \text{ kN}$$

Body interakčního diagramu

**bod 0** pouze tlak

$$\varepsilon_{cu,3} = 0,0035 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022 \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = b h f_{cd} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 5000 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd0} = -(F_c + F_{s1} + F_{s2}) = -(5000 + 349,67 + 349,67) = -5699,36 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd0} = -F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2 = 0 \text{ kNm}$$

**bod 1** neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{sI}$

$$x = d_I = 461 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (x - d_2) = \frac{0,0035}{0,461} (0,461 - 0,039) = 0,0032 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = 0,8x b f_{cd} = 0,8 \cdot 0,461 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 3688 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd1} = -(F_c + F_{s1}) = -(3688 + 349,67) = -4037,67 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd1} = F_c (h/2 - 0,4x) + F_{s1} z_1 = 3688 \left( 0,5/2 - 0,4 \cdot 0,461 \right) + 349,67 \cdot 0,211 = 315,71 \text{ kNm}$$

**bod 2** rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$x = \xi_{bal,1} d_1 = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} + \varepsilon_{yd}} d_1 = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,0022} 0,461 = 0,284 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (d_1 - d_2) = \frac{0,0035}{0,284} (0,461 - 0,039) = 0,0052 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = 0,8x b f_{cd} = 0,8 \cdot 0,284 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 2274,97 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd2} = -(F_c + F_{s1} - F_{s2}) = -(2274,97 + 349,67 - 349,67) = -2274,97 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$\begin{aligned}
 M_{Rd2} &= F_c (h/2 - 0,4x) + F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2 = \\
 &= 2274,97 \left( \frac{0,5}{2} - 0,4 \cdot 0,284 \right) + 349,67 \cdot 0,211 + \\
 &\quad + 349,67 \cdot 0,211 = 457,53 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

**bod 3** prostý ohyb

$$x = \frac{F_{s1}}{0,8 b f_{cd}} = \frac{349,67 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,044 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (d_1 - d_2) = \frac{0,0035}{0,044} (0,461 - 0,039) = 0,033 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

normálová síla

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$\begin{aligned}
 M_{Rd3} &= F_{s1} (d_1 - 0,4x) = 349,67 (0,461 - 0,4 \cdot 0,044) = \\
 &= 155,09 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

**bod 4** neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s2}$ , průřez je tažený

normálová síla

$$N_{Rd4} = F_{s1} = 349,67 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd4} = F_{s1} z_1 = 349,67 \cdot 0,211 = 73,78 \text{ kNm}$$

**bod 5** čistý tah

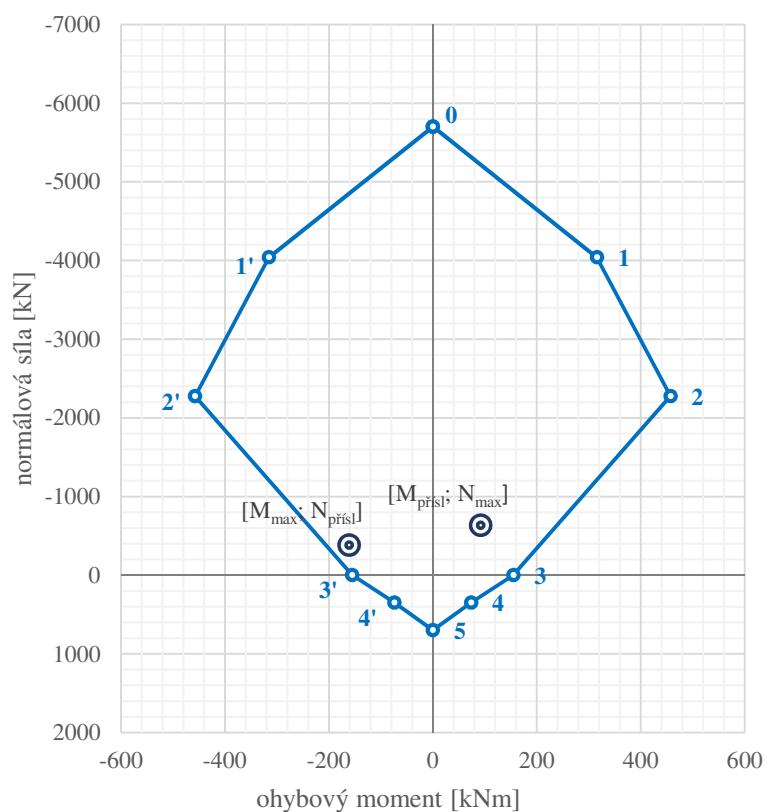
normálová síla

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 349,67 + 349,67 = 699,35 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd4} = F_{s1} z_1 - F_{s2} z_2 = 0 \text{ kNm}$$

Interakční diagram - grafické posouzení



Na grafu je zobrazeno grafické posouzení sloupu na kombinaci  $N_{\max}$  a  $M_{\text{přísl}}$  a  $M_{\max}$  a  $N_{\text{přísl}}$  ve směru osy Y. Graf byl vypracován v tabulkovém editoru MS Excel Professional Plus 2013. Dle grafu můžeme říci, že sloup 0,5 x 0,5 m vyztužen 4 Ø16 mm při horním i dolním povrchu **VYHOVÍ** ve směru Y.

- **směr z:  $N_{\max} = -633,84 \text{ kN}$        $M_{\max} = -116,11 \text{ kNm}$**   
 **$M_{\text{přísl}} = -22,53 \text{ kNm}$        $N_{\text{přísl}} = -323,72 \text{ kN}$**

### Vstupní parametry

**navrhuji: 4 Ø16 mm** (při horním i dolním povrchu)

vzdálenost výztuže  
od okraje sloupu

$$d_1 = h - c_{\text{nom}} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 500 - 25 - 8 - \frac{16}{2} = 461 \text{ mm}$$

$$d_2 = c_{\text{nom}} + \varnothing_w + \frac{\varnothing}{2} = 25 + 8 + \frac{16}{2} = 39 \text{ mm}$$

rameno vnitřních sil

$$z_1 = z_1 = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{500}{2} - 39 = 211 \text{ mm}$$

plocha betonu

$$A_c = h \cdot b = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m}^2$$

plocha výztuže

$$A_{s,1} = A_{s,2} = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 4 \frac{\pi 0,016^2}{4} = 804 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

síly ve výztuži

$$F_{s,1} = F_{s,2} = A_{s,i} \cdot f_{yd} = 804 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 349,67 \text{ kN}$$

### Ověření štíhlosti

a) pro kombinaci  $N_{\max}$ ,  $M_{\text{přísl}}$

– skutečná štíhlost

účinná délka

$$L_0 = \beta L_{S1} = 0,85 \cdot 5,0 = 4,25 \text{ m}$$

moment setrvačnosti

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,5^4}{12} = 52,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{52,1 \cdot 10^{-4}}{0,25}} = 0,144 \text{ m}$$

skutečná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{4,25}{0,144} = 29,44$$

– limitní štíhlost

mechanický stupeň  
vyztužení

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = \frac{804 \cdot 435}{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,0699$$

poměr momentů	$M_{01} = -22,53 \text{ kNm (pata)}$ $M_{02} = 22,30 \text{ kNm (hlava)}$ $r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{-22,53}{22,30} = -0,989$
poměrná normálová síla	$n = \frac{ N_{Ed} }{A_c f_{cd}} = \frac{ -633,84 }{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,127$
součinitelé	$A = 0,7$ $B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,0699} = 1,07$ $C = 1,7 - r_m = 1,7 + 0,989 = 2,69$
limitní štíhlost	$\lambda_{lim} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,07 \cdot 2,69}{\sqrt{0,127}} = 113,1$
<b><math>\lambda = 29,4 &lt; \lambda_{lim} = 113,1</math></b>	

**VYHOVÍ**b) pro kombinaci  $M_{max}$ ,  $N_{přísl}$ 

– skutečná štíhlost

účinná délka

$$L_0 = \beta L_{S1} = 0,85 \cdot 5,0 = 4,25 \text{ m}$$

moment setrvačnosti

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,5^4}{12} = 52,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{52,1 \cdot 10^{-4}}{0,25}} = 0,144 \text{ m}$$

skutečná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{4,25}{0,144} = 29,44$$

– limitní štíhlost

mechanický stupeň

vyztužení

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = \frac{804 \cdot 435}{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,0699$$

poměr momentů

$$M_{01} = 116,11 \text{ kNm (pata)}$$

$$M_{02} = -90,46 \text{ kNm (hlava)}$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{116,11}{-90,46} = -0,779$$

poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c f_{cd}} = \frac{|-323,72|}{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,065$$

součinitelé

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,0699} = 1,07$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 + 0,779 = 2,48$$

limitní štíhlost

$$\lambda_{lim} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,07 \cdot 2,48}{\sqrt{0,065}} = 104,2$$

 **$\lambda = 29,4 < \lambda_{lim} = 104,2$** **VYHOVÍ**

Dle podmínek štíhlosti se nejedná o štíhlé sloupy v žádné z kombinací, což znamená, že nemusí být uvažován přídatný ohybový moment od II. řádu.

Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed,max} = N_{max} = -633,84 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,přisl} = M_{přisl} = -22,53 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = M_{max} = 116,11 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,přisl} = N_{přisl} = -323,72 \text{ kN}$$

Body interakčního diagramu

**bod 0** pouze tlak

$$\varepsilon_{cu,3} = 0,0035 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022 \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = b h f_{cd} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 5000 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd0} = -(F_c + F_{s1} + F_{s2}) = -(5000 + 349,67 + 349,67) = -5699,36 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd0} = -F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2 = 0 \text{ kNm}$$

**bod 1** neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{sI}$

$$x = d_I = 461 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (x - d_2) = \frac{0,0035}{0,461} (0,461 - 0,039) = 0,0032 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = 0,8x b f_{cd} = 0,8 \cdot 0,461 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 3688 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd1} = -(F_c + F_{s1}) = -(3688 + 349,67) = -4037,67 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd1} = F_c \left( \frac{h}{2} - 0,4x \right) + F_{s1} z_1 = 3688 \left( \frac{0,5}{2} - 0,4 \cdot 0,461 \right) + 349,67 \cdot 0,211 = 315,71 \text{ kNm}$$

**bod 2** rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$x = \xi_{bal,1} d_1 = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} + \varepsilon_{yd}} d_1 = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,0022} 0,461 = 0,284 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (d_1 - d_2) = \frac{0,0035}{0,284} (0,461 - 0,039) = 0,0052 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = 0,8x b f_{cd} = 0,8 \cdot 0,284 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 2274,97 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd2} = -(F_c + F_{s1} - F_{s2}) = -(2274,97 + 349,67 - 349,67) = -2274,97 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$\begin{aligned}
 M_{Rd2} &= F_c (h/2 - 0,4x) + F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2 = \\
 &= 2274,97 \left( \frac{0,5}{2} - 0,4 \cdot 0,284 \right) + 349,67 \cdot 0,211 + \\
 &\quad + 349,67 \cdot 0,211 = 457,53 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

**bod 3** prostý ohyb

$$x = \frac{F_{s1}}{0,8 b f_{cd}} = \frac{349,67 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,044 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (d_1 - d_2) = \frac{0,0035}{0,044} (0,461 - 0,039) = 0,033 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

normálová síla

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$\begin{aligned}
 M_{Rd3} &= F_{s1} (d_1 - 0,4x) = 349,67 (0,461 - 0,4 \cdot 0,044) = \\
 &= 155,09 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

**bod 4** neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s2}$ , průřez je tažený

normálová síla

$$N_{Rd4} = F_{s1} = 349,67 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd4} = F_{s1} z_1 = 349,67 \cdot 0,211 = 73,78 \text{ kNm}$$

**bod 5** čistý tah

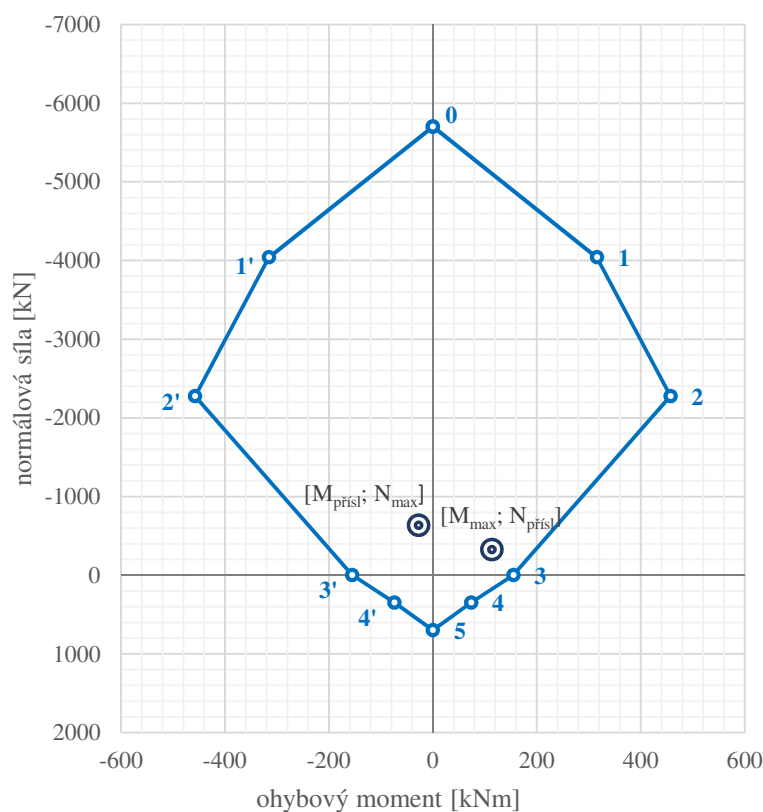
normálová síla

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 349,67 + 349,67 = 699,35 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd4} = F_{s1} z_1 - F_{s2} z_2 = 0 \text{ kNm}$$

Interakční diagram - grafické posouzení



Na grafu je zobrazeno grafické posouzení sloupu na kombinaci  $N_{\max}$  a  $M_{\text{přísl}}$  a  $M_{\max}$  a  $N_{\text{přísl}}$  ve směru osy Z. Graf byl vypracován v tabulkovém editoru MS Excel Professional Plus 2013. Dle grafu můžeme říci, že sloup 0,5 x 0,5 m vyztužen 4 Ø16 mm při horním i dolním povrchu **VYHOVÍ** ve směru Z.

- **dvouosý ohyb**

#### Posouzení štíhlosti

a) pro kombinaci  $N_{\max}$ ,  $M_{\text{přísl}}$

$$\frac{\lambda_y}{\lambda_z} = \frac{29,44}{29,44} = 1 < 2,0 \quad \text{OK}$$

$$\frac{\lambda_z}{\lambda_y} = \frac{29,44}{29,44} = 1 < 2,0 \quad \text{OK}$$

b) pro kombinaci  $M_{\max}$ ,  $N_{\text{přísl}}$

$$\frac{\lambda_y}{\lambda_z} = \frac{29,44}{29,44} = 1 < 2,0 \quad \text{OK}$$

$$\frac{\lambda_z}{\lambda_y} = \frac{29,44}{29,44} = 1 < 2,0 \quad \text{OK}$$

#### Posouzení poměrné výstřednosti

ekvivalentní šířka průřezu  $b_{eq} = i_y \sqrt{12} = 0,144 \sqrt{12} = 0,5 \text{ m}$

ekvivalentní výška průřezu  $h_{eq} = i_z \sqrt{12} = 0,144 \sqrt{12} = 0,5 \text{ m}$

a) pro kombinaci  $N_{\max}$ ,  $M_{\text{přísl}}$

výstřednost ve směru osy Y

$$e_y = \frac{M_{Ed,y}}{|N_{Ed}|} = \frac{91,94}{633,84} = 0,145 \text{ m}$$

výstřednost ve směru osy Z

$$e_z = \frac{|M_{Ed,z}|}{|N_{Ed}|} = \frac{28,08}{633,84} = 0,044 \text{ m}$$

$$\frac{e_y / h_{eq}}{e_z / b_{eq}} = \frac{0,145 / 0,5}{0,044 / 0,5} = 3,3 < 0,2 \quad \text{NE}$$

$$\frac{e_z / b_{eq}}{e_y / h_{eq}} = \frac{0,044 / 0,5}{0,145 / 0,5} = 1,2 < 0,2 \quad \text{NE}$$



b) pro kombinaci  $M_{\max}$ ,  $N_{\text{přisl}}$ 

výstřednost ve směru

osy Y

$$e_y = \frac{|M_{Ed,y}|}{|N_{Ed}|} = \frac{161,55}{380,43} = 0,350 \text{ m}$$

výstřednost ve směru

osy Z

$$e_z = \frac{M_{Ed,z}}{|N_{Ed}|} = \frac{113,28}{323,72} = 0,425 \text{ m}$$

$$\frac{e_y/h_{eq}}{e_z/b_{eq}} = \frac{0,350/0,5}{0,425/0,5} = 0,82 < 0,2 \quad \text{NE}$$

$$\frac{e_z/b_{eq}}{e_y/h_{eq}} = \frac{0,425/0,5}{0,350/0,5} = 1,2 < 0,2 \quad \text{NE}$$

Jelikož nejsou splněny podmínky týkající se poměrné výstřednosti sloupů, musí být provedeno posouzení na dvouosé namáhání ohybem v každém směru.

a) pro kombinaci  $N_{\max}$ ,  $M_{\text{přisl}}$ 

návrhová únosnost osově

namáhaného průřezu

$$N_{Rd} = A_c f_{cd} + A_s f_{yd} = 0,25 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1608 \cdot 435 \cdot 10^{-3} = 5669,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{633,84}{5669,35} = 0,11 \Rightarrow a = 1,01 \text{ (interpolace)}$$

ohybová únosnost k ose Y

$$M_{Rd,y} = M_{Rd3} = 457,53 \text{ kNm}$$

ohybová únosnost k ose Z

$$M_{Rd,z} = M_{Rd3} = 457,53 \text{ kNm}$$

$$\left( \frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}} \right)^a + \left( \frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \right)^a < 1,0$$

$$\left( \frac{28,08}{457,53} \right)^{1,01} + \left( \frac{91,94}{457,53} \right)^{1,01} < 1,0$$

$$0,59 < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

b) pro kombinaci  $M_{\max}$ ,  $N_{\text{přisl}}$ 

návrhová únosnost osově

namáhaného průřezu

$$N_{Rd} = A_c f_{cd} + A_s f_{yd} = 0,25 \cdot 20 \cdot 10^3 + 1608 \cdot 435 \cdot 10^{-3} = 5669,35 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{380,43}{5669,35} = 0,07 \Rightarrow a_y = 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{323,72}{5669,35} = 0,06 \Rightarrow a_z = 1,0$$

ohybová únosnost k ose Y

$$M_{Rd,y} = M_{Rd3} = 457,53 \text{ kNm}$$

ohybová únosnost k ose Z

$$M_{Rd,z} = M_{Rd3} = 457,53 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}}\right)^{a_y} + \left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^{a_y} < 1,0$$

$$\left(\frac{113,28}{457,53}\right)^1 + \left(\frac{161,55}{457,53}\right)^1 < 1,0$$

$$0,6 < 1,0 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

$$\left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}}\right)^a + \left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^a < 1,0$$

$$\left(\frac{113,28}{457,53}\right)^1 + \left(\frac{161,55}{457,53}\right)^1 < 1,0$$

$$0,6 < 1,0 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

- **konstrukční zásady**

#### Hlavní výztuž

omezení množství výztuže

$$A_{s,min} = 0,1 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 0,1 \frac{633,84}{435} = 146 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \geq 0,002 A_c = 0,002 \cdot 0,25 = 500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \textbf{NE}$$

$$A_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 0,25 = 10000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_s = 1608 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

$$A_{s,max} = 10000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 1608 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

omezení výšky tlačené oblasti – využití tažené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d_1} = \frac{0,044}{0,461} = 0,095 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

omezení výšky tlačené oblasti – využití tlačené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d_2} = \frac{0,044}{0,039} = 1,128 > \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{sv,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - \varnothing}{n - 1} = \frac{500 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 16}{4 - 1} = 140,7 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 400 \text{ mm} > s_{sv,skut} = 140,7 \text{ mm} \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

minimální světlá vzdálenost

$$s_{min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{os,skut} = \frac{b_w - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - n\varnothing}{n-1} = \frac{500 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 4 \cdot 16}{4-1} = 124,7 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 124,7 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**Třmínky – konstrukční návrh

$$\varnothing_{sw,min} = \max \left\{ \frac{6 \text{ mm}}{\varnothing/4} \right\} = \max \left\{ \frac{6 \text{ mm}}{16/4} \right\} = 6 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{sw,min} = 6 \text{ mm} < \varnothing_{sw} = 8 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

maximální vzdálenost třmínků

$$s_{sw,max} = \min \left\{ \frac{15 \varnothing}{\min(b;h)} \right\} = \min \left\{ \frac{15 \cdot 16}{\min(500;500)} \right\} = 240 \text{ mm}$$

$$s_{sw,max} = 240 \text{ mm} > s_{sw,skut} = 200 \text{ mm}$$

osová vzdálenost nad a pod deskou

$$s = 0,6 s_{sw} = 0,6 \cdot 200 = 120 \text{ mm}$$

délka s menší osovou vzdáleností

$$l = \max(b; h) = \max(500;500) = 500 \text{ mm}$$

**• kotevní délka**pro  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ :návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \frac{435}{3} = 580 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = 580 \text{ mm}$$

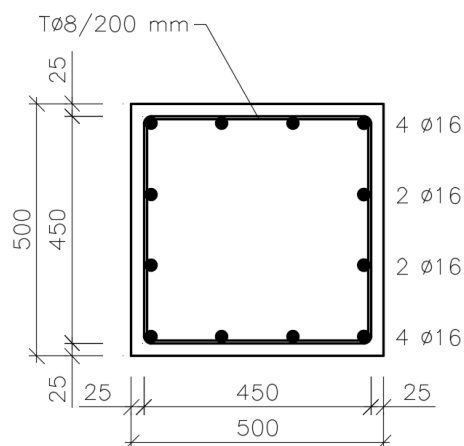
**volím:  $l_{bd} = 580 \text{ mm}$** 

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 580; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = 174 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 174 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**



Obr. 5.36: Schéma výztuže

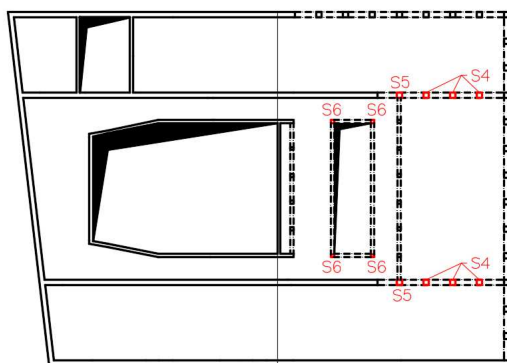
Průřez sloupů S1, S2 a S3 rozměrů 0,5 x 0,5 m bude vyztužen 12 ks Ø16 mm rovnoměrně rozdělenými po obvodě, tzn. 4 ks Ø16 mm na každé straně sloupu. Podélnou výztuž budou obepínat dvojstržné třmínky Ø8 mm po 200 mm (viz. Obr. 5.36), třmínky budou ve vzdálenosti 500 mm nad a pod deskou zhuštěny na osovou vzdálenost 120 mm.

### 5.3.2. Vnitřní sloupy S4, S5 a S6

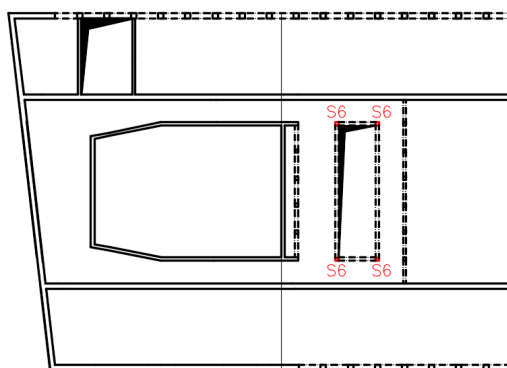
Tyto vnitřní sloupy budou jako jediné vnitřní sloupy průřezu 0,5 x 0,5 m. Důvodem je velké zatížení sloupů v 1. NP od stěn ve 2. a 3. NP. Sloupy dvorany budou stejného průřezu a to především kvůli uložení průvlaků P13 a P14.

Sloupy S5 přiléhají k podélné stěně, která vnáší do sloupů zatížení zapříčiňující smyk ve sloupech (viz. Obr. 5.37). Z tohoto důvodu bude proveden návrh třmínků na smykovou sílu, na rozdíl od sloupů S4 a S6, u nichž bude proveden návrh pouze konstrukčně.

1. NP



2. NP



Obr. 5.37: Umístění sloupů v půdoryse

### Vnitřní síly

Vnitřní síly na sloupech byly vypočteny pomocí programu Scia Engineer 15.3 a nabývají následujících hodnot (viz. Obr. 5.38 až 5.40):

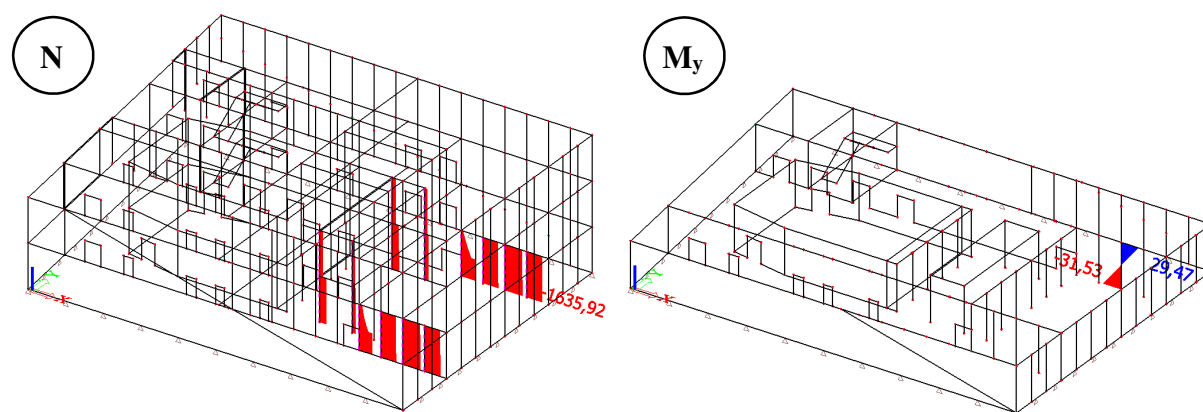
$$N_{\max} = -1635,92 \text{ kN}$$

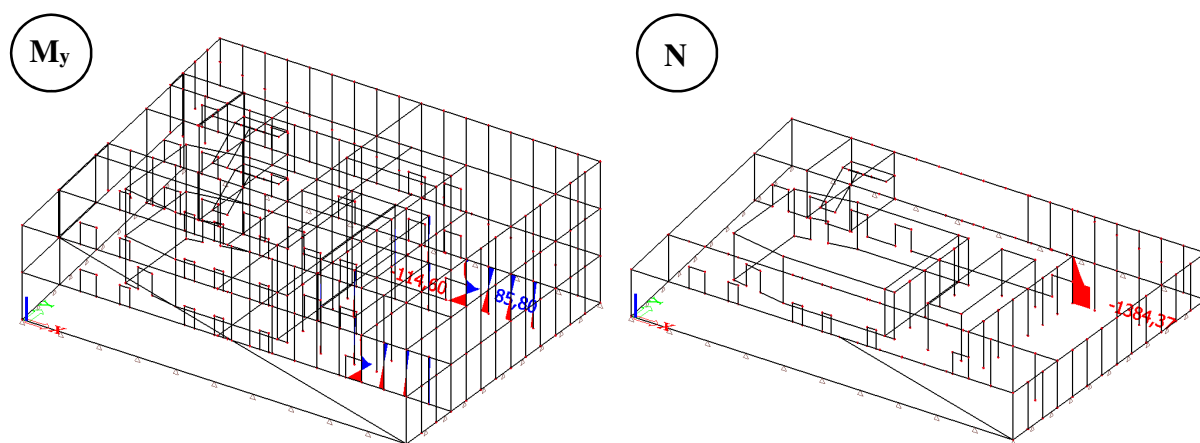
$$M_{y,\text{přísl}} = -31,53 \text{ kNm}$$

$$M_{y,\max} = -114,60 \text{ kNm}$$

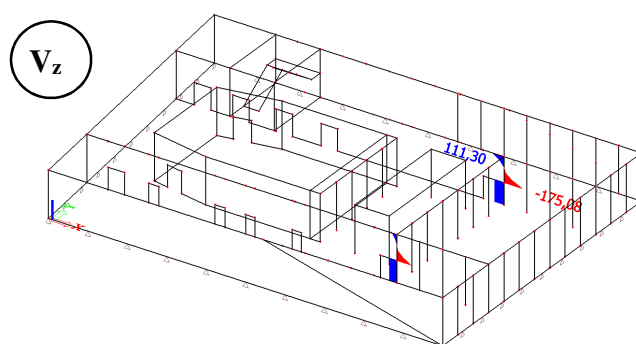
$$N_{\text{přísl}} = -1384,37 \text{ kN}$$

$$V_z = -175,08 \text{ kN}$$

Obr. 5.38: Vykreslení vnitřních sil pro  $N_{\max}$



Obr. 5.39: Vykreslení vnitřních sil pro  $M_{y,max}$



Obr. 5.40: Vykreslení vnitřních sil pro  $M_{z,max}$

Rozhodujícími kombinacemi pro maximální hodnoty jsou:

- normálová síla: vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sních
- ohybový moment  $M_y$ : vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sních + vítr\_příčný+
- posouvající síla  $V_z$ : vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sních + vítr\_příčný+

### Parametry vstupující do výpočtu

V Tab. 5.17 jsou uvedeny parametry sloupů a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.17: Parametry sloupů a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
délka sloupu	L	5,0	m
celková délka	L <sub>S4</sub>	5,0	m
	L <sub>S5</sub>	5,0	m
	L <sub>S6</sub>	10,0	m
rozměry sloupu	h	500	mm
	b	500	mm
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku [ $f_{ck}$ ]/[ $\gamma_c$ ]	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu [ $f_{yk}$ ]/[ $\gamma_s$ ]	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

**Krytí hlavní nosné výztuže**Krytí třmínkůpředpoklad:  $\varnothing_w = 8 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$
Krytí hlavní nosné výztužepředpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(16 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 16 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(15; 16) = 16 \text{ mm}$$

toleranční zvětšení

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$$

nominální krycí vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 9 = 25 \text{ mm}$$

### Mezní stav únosnosti – dvouosý ohyb a normálová síla

- kombinace:  $N_{max} = -1635,92 \text{ kN}$        $M_{max} = -114,60 \text{ kNm}$**   
 **$M_{přisl} = 31,53 \text{ kNm}$        $N_{přisl} = -1384,37 \text{ kN}$**

#### Vstupní parametry

**navrhují: 3 Ø16 mm** (při horním i dolním povrchu)

vzdálenost výztuže  
od okraje sloupu

$$d_1 = h - c_{nom} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 500 - 25 - 8 - \frac{16}{2} = 459 \text{ mm}$$

$$d_2 = c_{nom} + \varnothing_w + \frac{\varnothing}{2} = 25 + 8 + \frac{16}{2} = 41 \text{ mm}$$

rameno vnitřních sil

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{500}{2} - 41 = 209 \text{ mm}$$

plocha betonu

$$A_c = h \cdot b = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m}^2$$

plocha výztuže

$$A_{s,1} = A_{s,2} = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 3 \frac{\pi 0,016^2}{4} = 603 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

síly ve výztuži

$$F_{s,1} = F_{s,2} = A_{s,i} \cdot f_{yd} = 603 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 349,67 \text{ kN}$$

#### Ověření štíhlosti

a) pro kombinaci  $N_{max}$ ,  $M_{přisl}$

– skutečná štíhlost

účinná délka

$$L_0 = \beta L_{S2} = 0,85 \cdot 5,0 = 4,25 \text{ m}$$

moment setrvačnosti

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,5^4}{12} = 52,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{52,1 \cdot 10^{-4}}{0,25}} = 0,144 \text{ m}$$

skutečná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{4,25}{0,144} = 29,44$$

– limitní štíhlost

mechanický stupeň

vyztužení

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = \frac{603 \cdot 435}{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,0524$$



poměr momentů	$M_{01} = -31,53 \text{ kNm (pata)}$ $M_{02} = 29,47 \text{ kNm (hlava)}$ $r_m = \frac{M_{02}}{M_{01}} = \frac{-33,53}{29,47} = -0,935$
poměrná normálová síla	$n = \frac{ N_{Ed} }{A_c f_{cd}} = \frac{ -1635,92 }{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,327$
součinitelé	$A = 0,7$ $B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,0525} = 1,05$ $C = 1,7 - r_m = 1,7 + 0,935 = 2,63$
limitní štíhlost	$\lambda_{lim} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,05 \cdot 2,63}{\sqrt{0,327}} = 67,78$
<b><math>\lambda = 29,4 &lt; \lambda_{lim} = 67,78</math></b>	

**VYHOVÍ**b) pro kombinaci  $M_{max}$ ,  $N_{přisl}$ 

– skutečná štíhlost

účinná délka

$$L_0 = \beta L_{S2,i} = 0,85 \cdot 2,0 = 1,7 \text{ m}$$

moment setrvačnosti

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,5^4}{12} = 52,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{52,1 \cdot 10^{-4}}{0,25}} = 0,144 \text{ m}$$

skutečná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{1,7}{0,144} = 11,78$$

– limitní štíhlost

mechanický stupeň

vyztužení

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = \frac{603 \cdot 435}{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,0525$$

poměr momentů

$$M_{01} = -114,60 \text{ kNm (pata)}$$

$$M_{02} = 85,89 \text{ kNm (hlava)}$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{-114,60}{85,89} = -0,749$$

poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c f_{cd}} = \frac{|-1384,37|}{0,25 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,277$$

součinitelé

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,0525} = 1,05$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 + 0,749 = 2,45$$

limitní štíhlost

$$\lambda_{lim} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,05 \cdot 2,45}{\sqrt{0,277}} = 68,50$$

 **$\lambda = 29,4 < \lambda_{lim} = 68,50$** **VYHOVÍ**

Dle podmínek štíhlosti se nejedná o štíhlé sloupy v žádné z kombinací, což znamená, že nemusí být uvažován přídatný ohybový moment od II. řádu.

Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed,max} = N_{max} = -1635,92 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,přísl} = M_{přísl} = 31,53 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = M_{max} = -114,60 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,přísl} = N_{přísl} = -1384,37 \text{ kN}$$

Body interakčního diagramu

**bod 0** pouze tlak

$$\varepsilon_{cu,3} = 0,0035 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022 \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = b h f_{cd} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 5000 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd0} = -(F_c + F_{s1} + F_{s2}) = -(5000 + 262,25 + 262,25) = -5524,50 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd0} = -F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2 = 0 \text{ kNm}$$

**bod 1** neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{sI}$

$$x = d_I = 459 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (x - d_2) = \frac{0,0035}{0,459} (0,459 - 0,041) = 0,0032 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = 0,8x b f_{cd} = 0,8 \cdot 0,459 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 3672 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd1} = -(F_c + F_{s1}) = -(3672 + 262,25) = -3934,25 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd1} = F_c \left( \frac{h}{2} - 0,4x \right) + F_{s1} z_1 = 3672 \left( \frac{0,5}{2} - 0,4 \cdot 0,459 \right) + 262,25 \cdot 0,209 = 298,63 \text{ kNm}$$

**bod 2** rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$x = \xi_{bal,1} d_1 = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} + \varepsilon_{yd}} d_1 = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,0022} 0,459 = 0,283 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (d_1 - d_2) = \frac{0,0035}{0,283} (0,459 - 0,041) = 0,0052 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = 0,8x b f_{cd} = 0,8 \cdot 0,283 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^3 = 2265,10 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd2} = -(F_c + F_{s1} - F_{s2}) = -(2265,10 + 262,25 - 262,25) = -2265,10 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$\begin{aligned}
 M_{Rd2} &= F_c (h/2 - 0,4x) + F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2 = \\
 &= 2265,10 \left( \frac{0,5}{2} - 0,4 \cdot 0,283 \right) + 262,25 \cdot 0,209 + \\
 &\quad + 262,25 \cdot 0,209 = 419,36 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

**bod 3** prostý ohyb

$$x = \frac{F_{s1}}{0,8 b f_{cd}} = \frac{262,25 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,033 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (d_1 - d_2) = \frac{0,0035}{0,033} (0,459 - 0,041) = 0,045 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

normálová síla

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$\begin{aligned}
 M_{Rd3} &= F_{s1} (d_1 - 0,4x) = 262,25 (0,459 - 0,4 \cdot 0,033) = \\
 &= 116,94 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

**bod 4** neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s2}$ , průřez je tažený

normálová síla

$$N_{Rd4} = F_{s1} = 262,25 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd4} = F_{s1} z_1 = 262,25 \cdot 0,209 = 54,81 \text{ kNm}$$

**bod 5** čistý tah

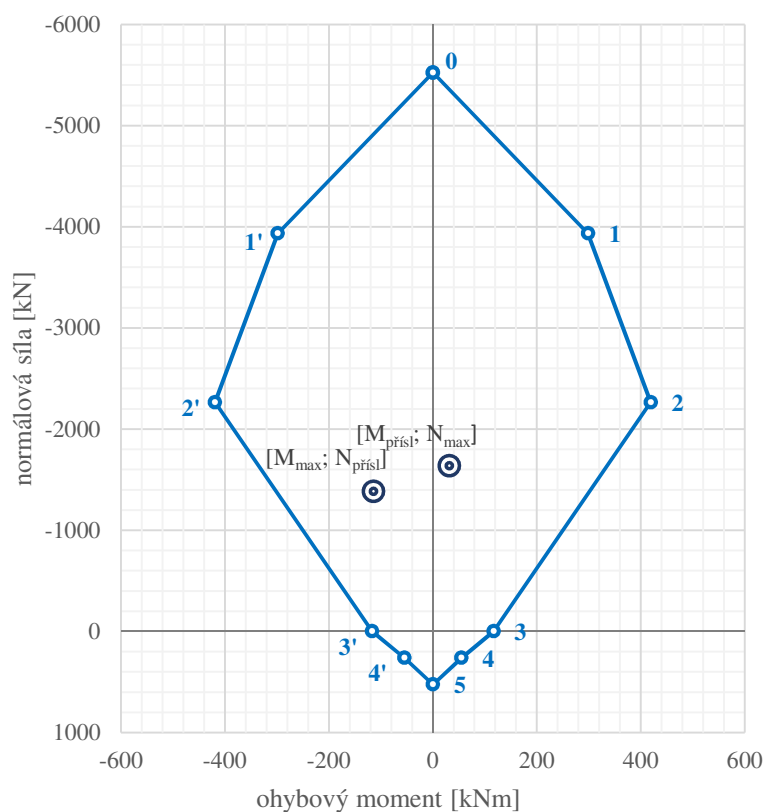
normálová síla

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 262,25 + 262,25 = 524,50 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd4} = F_{s1} z_1 - F_{s2} z_2 = 0 \text{ kNm}$$

Interakční diagram - grafické posouzení



Na grafu je zobrazeno grafické posouzení sloupu na kombinaci  $N_{\max}$  a  $M_{\text{přísl}}$  a  $M_{\max}$  a  $N_{\text{přísl}}$  ve směru osy Y. Graf byl vypracován v tabulkovém editoru MS Excel Professional Plus 2013. Dle grafu můžeme říci, že sloup 0,5 x 0,5 m vyztužen 3 Ø16 mm při horním i dolním povrchu **VYHOVÍ** ve směru Y.

- **konstrukční zásady**

omezení množství výztuže

$$A_{s,\min} = 0,1 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 0,1 \frac{1635,92}{435} = 376 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \geq 0,002 A_c = 0,002 \cdot 0,25 = 500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ NE}$$

$$A_{s,\max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 0,25 = 10000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min} = 500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_s = 1206 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

$$A_{s,\max} = 10000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 1206 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

omezení výšky tlačené oblasti – využití tažené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d_1} = \frac{0,033}{0,459} = 0,072 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

omezení výšky tlačené oblasti – využití tlačené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d_2} = \frac{0,033}{0,041} = 0,800 > \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{sv,skut} = \frac{b - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - \varnothing}{n - 1} = \frac{500 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 16}{3 - 1} = 209 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 400 \text{ mm} > s_{sv,skut} = 209 \text{ mm} \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

minimální světlá vzdálenost

$$s_{\min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{os,skut} = \frac{b - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - n\varnothing}{n - 1} = \frac{500 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 3 \cdot 16}{3 - 1} = 193 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 193 \text{ mm} \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

- **kotevní délka**

pro  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ :

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{16 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 580 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = 580 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 580 \text{ mm}$**

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 580; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = 174 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 174 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

### Mezní stav únosnosti - smyk

- **posouvající síla  $V_{Ed,z} = 175,08 \text{ kNm}$**

Posouzení smykové únosnosti bez smykové výztuže

stupeň vyztužení

$$\rho = \frac{A_s}{b d} = \frac{603 \cdot 10^{-6}}{0,5 \cdot 0,459} = 2,6 \cdot 10^{-3} < 0,02 \quad \text{OK}$$

ostatní parametry  
vstupující do výpočtu

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{459}} = 1,66 < 2,0 \quad \text{OK}$$

max. návrhová únosnost  
ve smyku bez smykové  
výztuže

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{\frac{1}{3}} \right] b d = \left[ 0,12 \cdot 1,66 (100 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{\frac{1}{3}} \right] 0,5 \cdot 0,459 = 90,99 \text{ kN}$$

minimální únosnost  
betonu

$$v_{min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,66^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 410,04 \text{ kPa}$$

$$V_{Rd,min} = v_{min} b_w d = 410,04 \cdot 0,5 \cdot 0,459 = 94,10 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 90,99 \text{ kN} < V_{Rd,min} = 94,10 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 94,10 \text{ kN} < V_{Ed,z} = 175,08 \text{ kN}$$

$$\text{NEVYHOVÍ} \Rightarrow V_{Rd,c} = 94,10 \text{ kN}$$

**NEVYHOVÍ**

$\Rightarrow$  nutno navrhnout smykovou výztuž

Posouzení smykové únosnosti se smykovou výztuží

osová vzdálenost třmínků  $s_l = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,459 = 0,344 \text{ m}$   
(dle k-čních zásad)

**navrhují: trojstřížné Ø8 /250 mm**

plocha třmínků

$$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_w^2}{4} = 3 \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 151 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,459 = 0,413 \text{ m}$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

návrhová smyková síla  
s výztuží

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \theta \frac{1}{s_l} =$$

$$= 151 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 0,416 \cdot \cot 30^\circ \frac{1}{0,25} =$$

$$= 187,65 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 187,65 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 175,08 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**

Maximální smyková únosnost betonu

součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

úhel tlačných diagonál

$$\theta = 30^\circ$$

rameno vnitřních sil

$$z = 0,9 d = 0,9 \cdot 0,459 = 0,413 \text{ m}$$

maximální smyková  
únosnost

$$V_{Rd,max} = v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta} =$$

$$= 0,528 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 0,5 \cdot 0,413 \frac{1}{\cot 30^\circ + \tan 30^\circ} =$$

$$= 944,47 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 944,47 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 175,08 \text{ kN}$$

**VYHOVÍ**

- konstrukční zásady**

maximální osová vzdálenost mezi větvemi třmínku

$$s_{t,max} = 0,75 d = 0,75 \cdot 0,459 = 0,344 \text{ m}$$

$$s_{t,skut} = \frac{b - 2 c_{nom} - \varnothing_w}{n - 1} = \frac{500 - 2 \cdot 25 - 8}{3 - 1} = 211 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} = 0,344 \text{ m} > s_{t,skut} = 0,211 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

maximální osová vzdálenost mezi třmínky

$$s_{l,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 0,459 (1 + \cot 90^\circ) = 0,344 \text{ m}$$

$$s_{l,max} = 0,286 \text{ m} > s_{l,skut} = 0,25 \text{ m}$$

**VYHOVÍ**

minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{swt} = \frac{A_{swt}}{s_l b \sin \alpha} = \frac{151 \cdot 10^{-6}}{0,25 \cdot 0,5 \cdot \sin 90^\circ} = 1,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{w,\min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,88 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{swt} = 1,2 > \rho_{w,\min} = 0,88$$

**VYHOVÍ**

• **konstrukční návrh třmínků sloupů S2**

$$\varnothing_{sw,\min} = \max \left\{ \begin{matrix} 6 \text{ mm} \\ \varnothing/4 \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 6 \text{ mm} \\ 16/4 \end{matrix} \right\} = 6 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{sw,\min} = 6 \text{ mm} < \varnothing_{sw} = 8 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

maximální vzdálenost třmínků

$$s_{sw,\max} = \min \left\{ \begin{matrix} 15 \varnothing \\ \min(b; h) \\ 300 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 15 \cdot 16 \\ \min(500; 500) \\ 300 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = 240 \text{ mm}$$

$$s_{sw,\max} = 240 \text{ mm} = s_{sw,skut} = 240 \text{ mm}$$

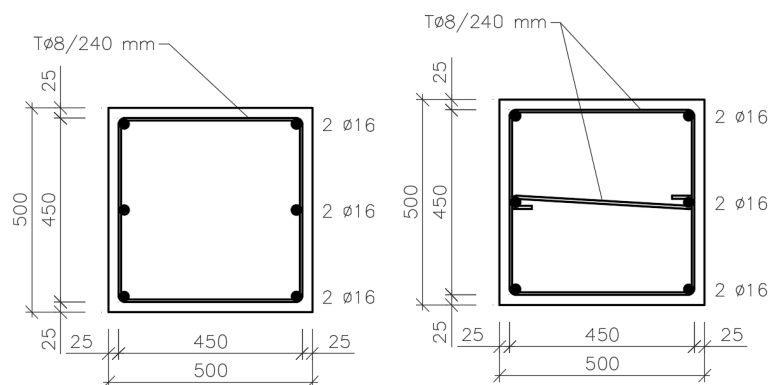
osová vzdálenost nad a pod deskou

$$s = 0,6 s_{sw} = 0,6 \cdot 240 = 140 \text{ mm}$$

délka s menší osovou vzdáleností

$$l = \max(b; h) = \max(500; 500) = 500 \text{ mm}$$

Protože osová vzdálenost třmínků sloupů S3 nesplňuje konstrukční zásadu pro maximální vzdálenost třmínků pro sloupce navrhují u vyztužení na smyk trojstržné třmínky  $\varnothing 8/240 \text{ mm}$ .



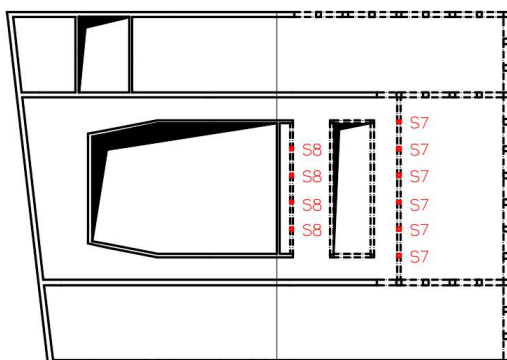
Obr. 5.41: Schéma výztuže sloupů S4 a S6 (vlevo) a S5 (vpravo)

Průřez sloupů S4 a S6 rozměrů 0,5 x 0,5 m bude vyztužen 6 ks Ø16 mm, tzn. 3 ks Ø16 mm při levém a pravém povrchu. Podélnou výztuž budou obepínat dvojstřížné třmínky Ø8 mm po 240 mm, třmínky budou ve vzdálenosti 500 mm nad a pod deskou zhuštěny na osovou vzdálenost 140 mm (viz. Obr. 5.41).

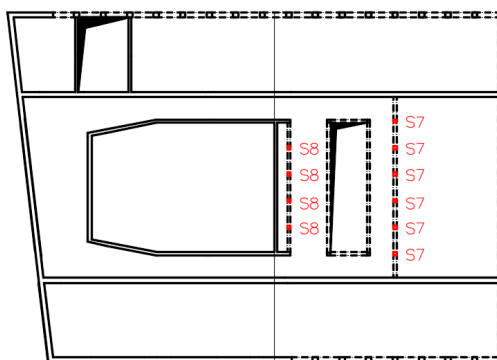
Průřez sloupů S5 rozměrů 0,5 x 0,5 m bude vyztužen 6 ks Ø16 mm, tzn. 3 ks Ø16 mm při levém a pravém povrchu. Podélnou výztuž budou obepínat trojstřížné třmínky Ø8 mm po 240 mm, třmínky budou ve vzdálenosti 500 mm nad a pod deskou zhuštěny na osovou vzdálenost 140 mm (viz. Obr. 5.41).

### 5.3.3. Vnitřní sloupy S7 a S8

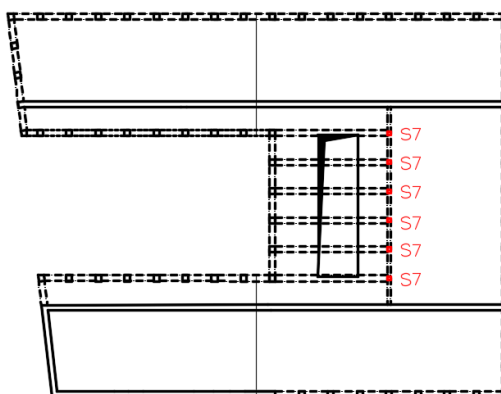
1. NP



2. NP



3. NP



Obr. 5.42: Umístění sloupů v půdoryse



## Vnitřní síly

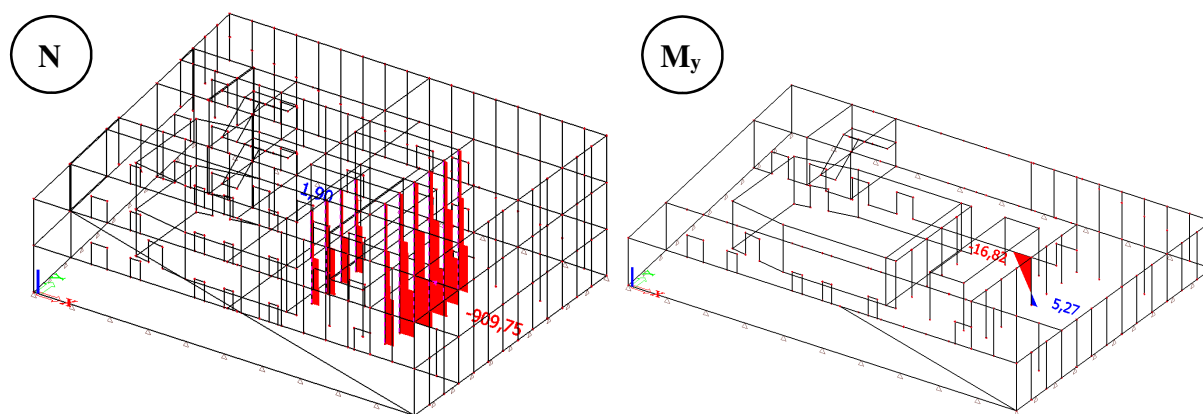
Vnitřní síly na sloupech byly vypočteny pomocí programu Scia Engineer 15.3 a nabývají následujících hodnot (viz. *Obr. 5.43 a 5.44*):

$$N_{\max} = -909,75 \text{ kN}$$

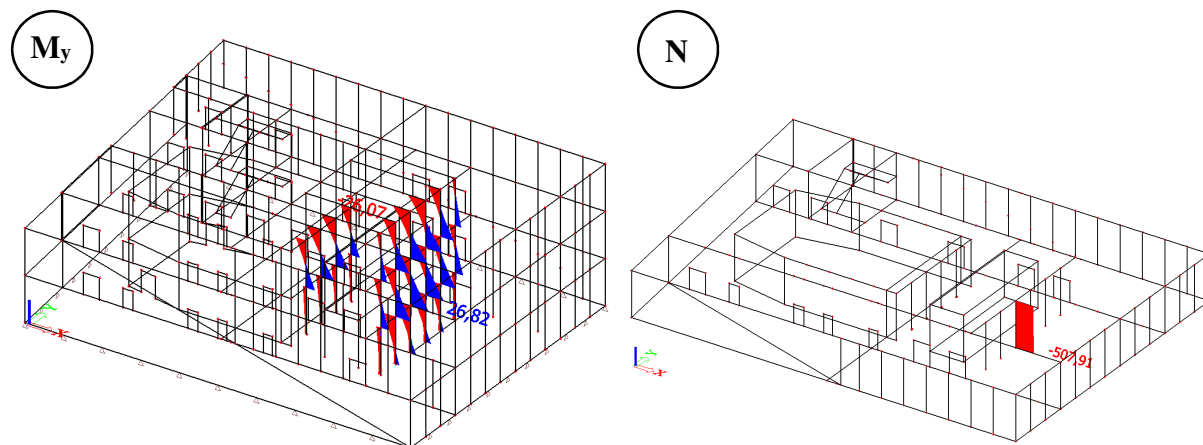
$$M_{y,\text{přísl}} = -16,82 \text{ kNm}$$

$$M_{y,\max} = 26,82 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{přísl}} = -507,91 \text{ kN}$$



*Obr. 5.43: Vykreslení vnitřních sil pro  $N_{\max}$*



*Obr. 5.44: Vykreslení vnitřních sil pro  $M_{y,\max}$*

Rozhodujícími kombinacemi pro maximální hodnoty jsou:

- normálová síla: vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sníh + vítr\_příčný–
- ohybový moment  $M_y$ : vl. tíha + stálé + užitné\_1 + sníh + vítr\_podélný–

### Parametry vstupující do výpočtu

V Tab. 5.18 jsou uvedeny parametry sloupů a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.18: Parametry sloupů a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
délka sloupu	L	5,0	m
celková délka	L <sub>S7</sub>	15,0	m
	L <sub>S8</sub>	10,0	m
rozměry sloupu	h	300	mm
	b	300	mm
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC1			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku $[f_{ck}]/[\gamma_c]$	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu $[f_{yk}]/[\gamma_s]$	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

### Krytí hlavní nosné výztuže

#### Krytí třmínků

předpoklad:  $\varnothing_w = 8 \text{ mm}$

minimální krycí vrstva s přihlédnutím

k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} -$$

$$\Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 15 + 0$$

$$- 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

Krytí hlavní nosné výztužepředpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ 

minimální krycí vrstva s přihlédnutím k požadavku soudržnosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(16 \text{ mm}; 15 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 16 \text{ mm}$$
 $c_{min} = \max(15; 16) = 16 \text{ mm}$ toleranční zvětšení  $\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$ nominální krycí vrstva  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 9 = 25 \text{ mm}$ **Mezní stav únosnosti – dvouosý ohyb a normálová síla**

- kombinace:  $N_{max} = -909,75 \text{ kN}$        $M_{max} = 26,82 \text{ kNm}$**   
 **$M_{přisl} = -16,82 \text{ kNm}$        $N_{přisl} = -507,91 \text{ kN}$**

Vstupní parametry**navrhují: 2  $\varnothing 16 \text{ mm}$**  (při horním i dolním povrchu)vzdálenost výztuže od okraje sloupu  $d_1 = h - c_{nom} - \varnothing_w - \frac{\varnothing}{2} = 300 - 25 - 8 - \frac{16}{2} = 259 \text{ mm}$ 

$$d_2 = c_{nom} + \varnothing_w + \frac{\varnothing}{2} = 25 + 8 + \frac{16}{2} = 41 \text{ mm}$$

rameno vnitřních sil  $z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_2 = \frac{300}{2} - 41 = 109 \text{ mm}$ plocha betonu  $A_c = h \cdot b = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09 \text{ m}^2$ plocha výztuže  $A_{s,1} = A_{s,2} = n \frac{\pi \varnothing^2}{4} = 2 \frac{\pi 0,016^2}{4} = 402 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ síly ve výztuži  $F_{s,1} = F_{s,2} = A_{s,i} \cdot f_{yd} = 402 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 174,84 \text{ kN}$ Ověření štíhlostia) pro kombinaci  $N_{max}$ ,  $M_{přisl}$ 

– skutečná štíhlost

účinná délka  $L_0 = \beta L_{S2} = 0,75 \cdot 5,0 = 3,75 \text{ m}$ moment setrvačnosti  $I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,3^4}{12} = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$ poloměr setrvačnosti  $i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{6,8 \cdot 10^{-4}}{0,25}} = 0,087 \text{ m}$

skutečná štíhlost	$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{3,75}{0,087} = 43,30$
– limitní štíhlost	
mechanický stupeň	$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = \frac{402 \cdot 435}{0,09 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,0971$
vyztužení	
poměr momentů	$M_{01} = 5,27 \text{ kNm (pata)}$ $M_{02} = -16,82 \text{ kNm (hlava)}$ $r_m = \frac{M_{02}}{M_{01}} = \frac{5,27}{-16,82} = -0,313$
poměrná normálová síla	$n = \frac{ N_{Ed} }{A_c f_{cd}} = \frac{ -909,75 }{0,09 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,505$
součinitelé	$A = 0,7$ $B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,0971} = 1,09$ $C = 1,7 - r_m = 1,7 - 0,313 = 2,01$
limitní štíhlost	$\lambda_{lim} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,09 \cdot 2,01}{\sqrt{0,505}} = 43,33$
<b><math>\lambda = 43,30 &lt; \lambda_{lim} = 43,33</math></b>	

**VYHOVÍ**b) pro kombinaci  $M_{max}$ ,  $N_{přisl}$ 

– skutečná štíhlost

účinná délka

$$L_0 = \beta L_{S2,i} = 0,75 \cdot 5,0 = 3,75 \text{ m}$$

moment setrvačnosti

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,3^4}{12} = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

poloměr setrvačnosti

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}} = \sqrt{\frac{6,8 \cdot 10^{-4}}{0,25}} = 0,087 \text{ m}$$

skutečná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{3,75}{0,087} = 43,30$$

– limitní štíhlost

mechanický stupeň

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} = \frac{402 \cdot 435}{0,09 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,0971$$

vyztužení

poměr momentů

$$M_{01} = 26,78 \text{ kNm (pata)}$$

$$M_{02} = -22,38 \text{ kNm (hlava)}$$

$$r_m = \frac{M_{02}}{M_{01}} = \frac{-22,38}{26,78} = -0,836$$

poměrná normálová síla

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c f_{cd}} = \frac{|-507,91|}{0,09 \cdot 10^6 \cdot 20} = 0,282$$

součinitelé

$$A = 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,0971} = 1,09$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - 0,836 = 2,54$$

limitní štíhlost

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 A B C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,09 \cdot 2,54}{\sqrt{0,282}} = 73,03$$

$$\lambda = 43,3 < \lambda_{\text{lim}} = 73,03$$

**VYHOVÍ**

Dle podmínek štíhlosti se nejedná o štíhlé sloupy v žádné z kombinací, což znamená, že nemusí být uvažován přídatný ohybový moment od II. řádu.

Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed, \max} = N_{\max} = -909,75 \text{ kN}$$

$$M_{Ed, \text{přísl}} = M_{\text{přísl}} = -16,82 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, \max} = M_{\max} = 26,82 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed, \text{přísl}} = N_{\text{přísl}} = -507,91 \text{ kN}$$

Body interakčního diagramu**bod 0** pouze tlak

$$\varepsilon_{cu,3} = 0,0035 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022 \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = b h f_{cd} = 0,3 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1800 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd0} = -(F_c + F_{s1} + F_{s2}) = -(1800 + 174,84 + 174,84) = -2149,67 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd0} = -F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2 = 0 \text{ kNm}$$

**bod 1** neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s1}$ 

$$x = d_1 = 259 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (x - d_2) = \frac{0,0035}{0,259} (0,259 - 0,041) = 0,0029 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = 0,8 x b f_{cd} = 0,8 \cdot 0,259 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1243,20 \text{ kN}$$

normálová síla

$$N_{Rd1} = -(F_c + F_{s1}) = -(1243,2 + 174,84) = -1418,03 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$\begin{aligned} M_{Rd1} &= F_c (h/2 - 0,4x) + F_{s1} z_1 = \\ &= 1243,2 \left( \frac{0,3}{2} - 0,4 \cdot 0,259 \right) + 174,84 \cdot 0,109 = \\ &= 76,74 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**bod 2** rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$x = \xi_{bal,1} d_1 = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} + \varepsilon_{yd}} d_1 = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,0022} 0,259 = 0,160 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (d_1 - d_2) = \frac{0,0035}{0,160} (0,259 - 0,041) = 0,0048 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

síla v betonu

$$F_c = 0,8x b f_{cd} = 0,8 \cdot 0,160 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^3 = 776,88 \text{ kN}$$

normálová síla

$$\begin{aligned} N_{Rd2} &= -(F_c + F_{s1} - F_{s2}) = \\ &= -(776,88 + 174,84 - 174,84) = -776,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

ohybový moment

$$\begin{aligned} M_{Rd2} &= F_c (h/2 - 0,4x) + F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2 = \\ &= 776,88 \left( \frac{0,3}{2} - 0,4 \cdot 0,160 \right) + 174,84 \cdot 0,109 + \\ &\quad + 174,84 \cdot 0,109 = 104,14 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**bod 3** prostý ohyb

$$x = \frac{F_{s1}}{0,8 b f_{cd}} = \frac{174,84 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,036 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s,2} = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{x} (d_1 - d_2) = \frac{0,0035}{0,036} (0,259 - 0,041) = 0,021 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,0022$$

$$\Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

normálová síla

$$N_{Rd3} = 0 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$\begin{aligned} M_{Rd3} &= F_{s1} (d_1 - 0,4x) = 174,84 (0,259 - 0,4 \cdot 0,036) = \\ &= 42,74 \text{ kNm} \end{aligned}$$

**bod 4** neutrální osa prochází těžištěm výztuže  $A_{s2}$ , průřez je tažený

normálová síla

$$N_{Rd4} = F_{s1} = 174,84 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd4} = F_{s1} z_1 = 174,84 \cdot 0,109 = 19,06 \text{ kNm}$$

**bod 5** čistý tah

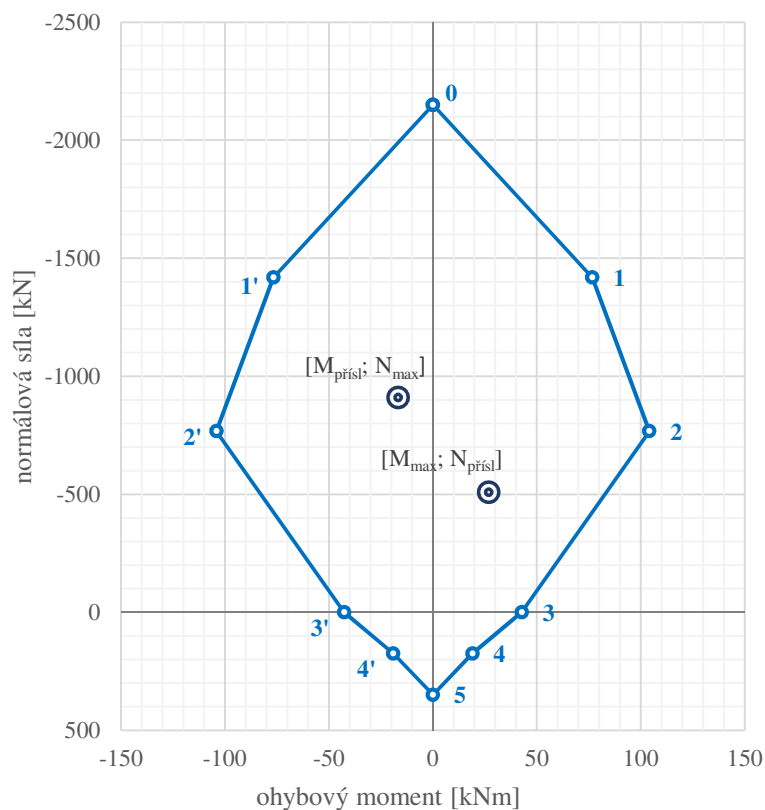
normálová síla

$$N_{Rd5} = F_{s1} + F_{s2} = 174,84 + 174,84 = 349,67 \text{ kN}$$

ohybový moment

$$M_{Rd4} = F_{s1} z_1 - F_{s2} z_2 = 0 \text{ kNm}$$

Interakční diagram - grafické posouzení



Na grafu je zobrazeno grafické posouzení sloupu na kombinaci  $N_{\max}$  a  $M_{\text{přisl}}$  a  $M_{\max}$  a  $N_{\text{přisl}}$  ve směru osy Y. Graf byl vypracován v tabulkovém editoru MS Excel Professional Plus 2013. Dle grafu můžeme říci, že sloup 0,3 x 0,3 m vyztužen 2 Ø16 mm při horním i dolním povrchu **VYHOVÍ** ve směru Y.

- **konstrukční zásady**

#### Hlavní výztuž

omezení množství výztuže

$$A_{s,\min} = 0,1 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 0,1 \frac{909,75}{435} = 209 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \geq 0,002 A_c = 0,002 \cdot 0,09 = 180 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ OK}$$

$$A_{s,\max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 0,09 = 3600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min} = 209 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < A_s = 804 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\max} = 3600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > A_s = 804 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

omezení výšky tlačené oblasti – využití tažené výztuže

**VYHOVÍ**

**VYHOVÍ**

$$\xi = \frac{x}{d_1} = \frac{0,036}{0,259} = 0,141 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

**VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti – využití tlačené výztuže

$$\xi = \frac{x}{d_2} = \frac{0,036}{0,041} = 0,888 > \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

**VYHOVÍ**

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{sv,skut} = \frac{b - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - \varnothing}{n - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 16}{2 - 1} = 218 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 400 \text{ mm} > s_{sv,skut} = 218 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

minimální světlá vzdálenost

$$s_{min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{os,skut} = \frac{b - 2c_{nom} - 2\varnothing_w - n\varnothing}{n - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 16}{2 - 1} = 202 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} < s_{x,3} = 202 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**Třmínky – konstrukční návrh

$$\varnothing_{sw,min} = \max \left\{ \begin{matrix} 6 \text{ mm} \\ \varnothing/4 \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 6 \text{ mm} \\ 16/4 \end{matrix} \right\} = 6 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{sw,min} = 6 \text{ mm} < \varnothing_{sw} = 8 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

maximální vzdálenost třmínků

$$s_{sw,max} = \min \left\{ \begin{matrix} 15 \varnothing \\ \min(b; h) \\ 300 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 15 \cdot 16 \\ \min(300; 300) \\ 300 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = 240 \text{ mm}$$

$$s_{sw,max} = 240 \text{ mm} = s_{sw,skut} = 240 \text{ mm}$$

osová vzdálenost nad a pod deskou

$$s = 0,6 s_{sw} = 0,6 \cdot 240 = 140 \text{ mm}$$

délka s menší osovou vzdáleností

$$l = \max(b; h) = \max(300; 300) = 300 \text{ mm}$$



- **kotevní délka**

pro  $\varnothing = 16$  mm:

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{16 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 580 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = 580 \text{ mm}$$

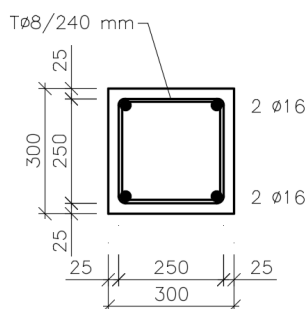
**volím:  $l_{bd} = 580$  mm**

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 580; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = 174 \text{ mm}$$

**$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 174 \text{ mm}$**

**VYHOVÍ**



Obr. 5.45: Schéma výztuže

Průřez sloupů S7 a S8 rozměrů 0,3 x 0,3 m bude vyztužen 4 ks Ø16 mm, tzn. v každém rohu sloupu Ø16. Podélnou výztuž budou obepínat dvojstřížné třmínky Ø8 mm po 240 mm, třmínky budou ve vzdálenosti 300 mm nad a pod deskou zhuštěny na osovou vzdálenost 140 mm (viz. Obr. 5.45).

## 5.4. Základová deska

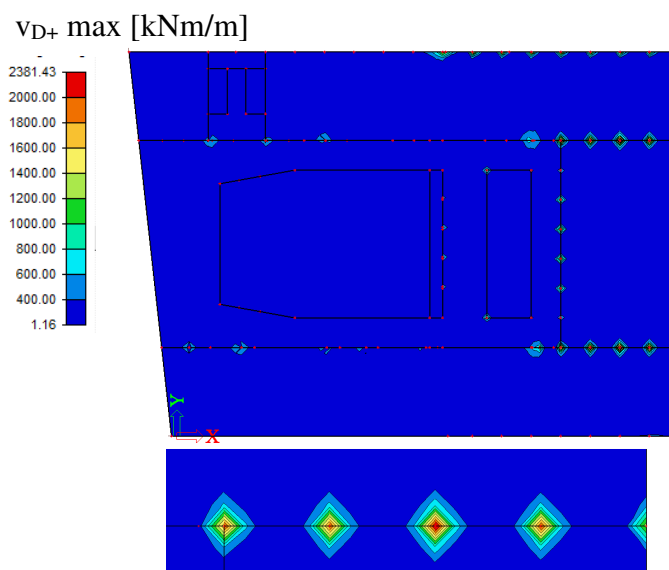
Základová deska je ve výpočetním modelu podepřena plošnou podporou typu jednotlivě, která je pro získání relevantních vnitřních sil postačující. Základová spára bude v hloubce 1,2 m pod upraveným terénem, kde se nachází vrstva zeminy G5 (štěrk jílovitý).

### Vnitřní síly na desce

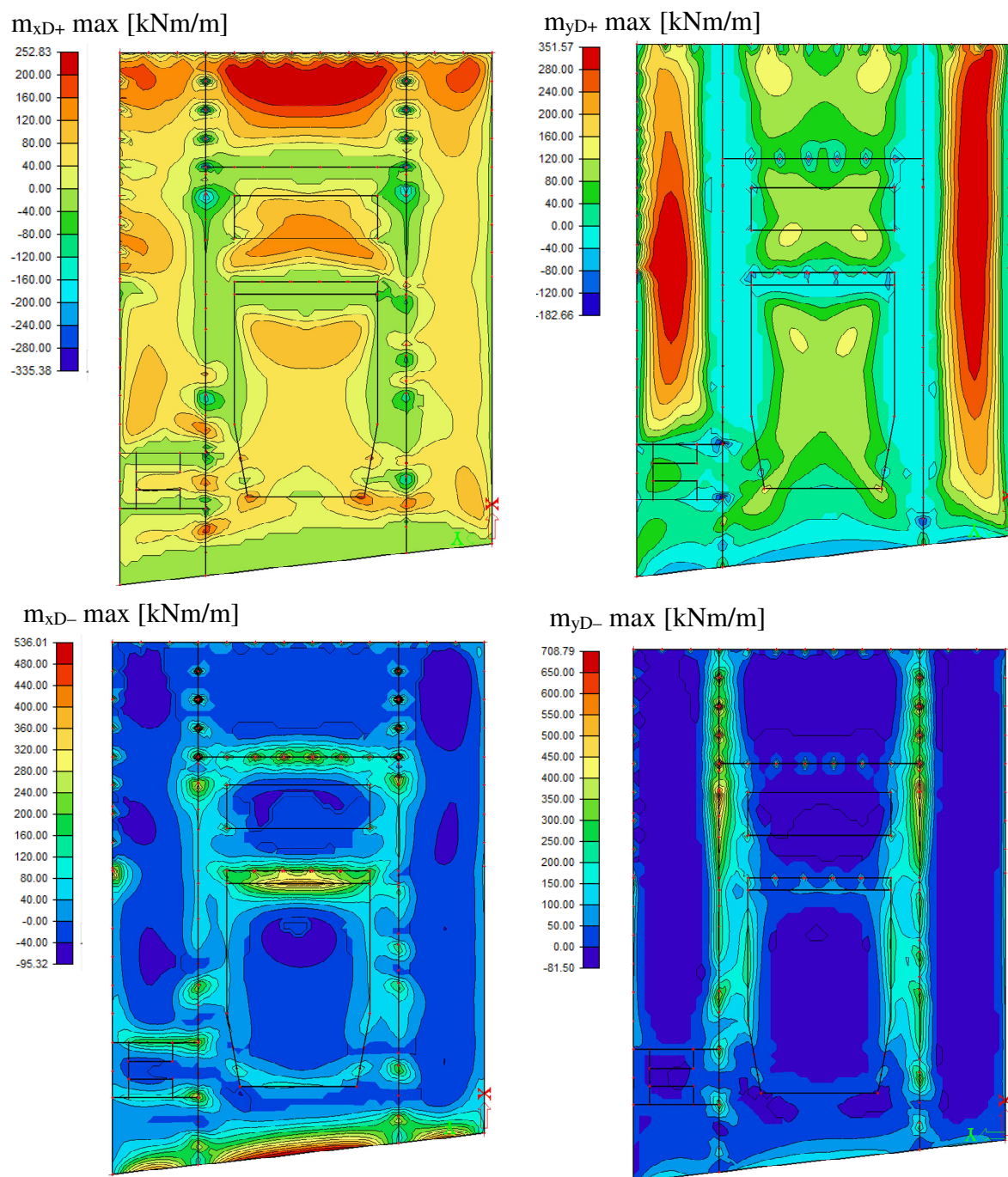
Vnitřní síly byly spočteny pomocí programu Scia engineer 15.3. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5.19 a vyobrazeny na Obr. 5.46 a Obr. 5.47.

Tab. 5.19: Vnitřní síly na základové desce

ozn.	hodnota	jedn.	ozn.	hodnota	jedn.
$m_{Ed,x,1}^-$	-165,84	kNm	$m_{Ed,y,1}^-$	-351,57	kNm
$m_{Ed,x,2}^-$	-252,83	kNm	$m_{Ed,y,2}^-$	-135,06	kNm
$m_{Ed,x,1}^+$	536,01	kNm	$m_{Ed,y,1}^+$	152,62	kNm
$m_{Ed,x,2}^+$	394,46	kNm	$m_{Ed,y,2}^+$	169,33	kNm
$m_{Ed,x,sl,1}^+$	219,54	kNm	$m_{Ed,y,sl,1}^+$	408,13	kNm
$m_{Ed,x,sl,2}^+$	517,71	kNm	$m_{Ed,y,sl,2}^+$	708,79	kNm
<b><math>V_{Ed,1}</math></b>	<b>2381,43</b>	<b>kN</b>			



Obr. 5.46: Dimenzační posouvající síla



Obr. 5.47: Dimenzační ohybové momenty

### Parametry vstupující do výpočtu

V níže uvedené Tab. 5.20 jsou uvedeny parametry desky nad 1. NP a materiálové charakteristiky betonu a oceli potřebné při návrhu a posouzení.

Tab. 5.20: Parametry desky a materiálové charakteristiky

název	označení	hodnota	jednotka
tloušťka desky	h	800	mm
rozměry desky	$L_{x,max}$	33,0	m
	$L_{x,min}$	10,1	m
	$L_{y,max}$	46,78	m
	$L_{y,min}$	5,0	m
<b>beton C 30/37</b>			
stupeň vlivu prostředí: XC2			
konstrukční třída: S4			
charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck}$	30	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_c$	1,5	---
návrhová pevnost v tlaku [ $f_{ck}$ ]/[ $\gamma_c$ ]	$f_{cd}$	20	MPa
sečnový modul pružnosti	$E_{cm}$	32	GPa
průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu	$f_{ctm}$	2,9	MPa
charakteristická hodnota pevnosti v dostředném tahu 5% kvantil	$f_{ctk;0,05}$	2,0	MPa
<b>betonářská výztuž B 500B</b>			
charakteristická mez kluzu	$f_{yk}$	500	MPa
součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_s$	1,15	---
návrhová mez kluzu [ $f_{yk}$ ]/[ $\gamma_s$ ]	$f_{yd}$	435	MPa
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s$	210	GPa

**Krytí výztuže**předpoklad:  $\varnothing = 20$  mm

minimální krycí vrstva s přihlédnutím

k požadavku soudržnosti

toleranční zvětšení

nominální krycí vrstva

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max(20 \text{ mm}; 25 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ až } 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$$

**Mezní stav únosnosti - ohyb**

- ohybový moment:  $m_{Ed,y,2^-} = |-135,06| \text{ kNm}$

$$m_{Ed,y,1^+} = 152,62 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,1^-} = |-165,84| \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,2^+} = 169,33 \text{ kNm}$$

Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 10 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{\text{nom}} - \varnothing - \frac{\varnothing}{2} = 800 - 35 - 20 - \frac{10}{2} = 740 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{169,33 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,740} = 585 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{585 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,134 \text{ m}$$

**navrhuji:  $\varnothing 10 \text{ mm}/140 \text{ mm}$**

skutečná plocha výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,14} \frac{\pi \cdot 0,010^2}{4} = 561 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s \cdot f_{yd} = 561 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 243,91 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{243,91 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0152 \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 243,91 (0,74 - 0,4 \cdot 0,0152) = 179,01 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,2^-} = |-135,06| \text{ kNm} < m_{Rd} = 179,01 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,1^+} = 152,62 \text{ kNm} < m_{Rd} = 179,01 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,1^-} = |-165,84| \text{ kNm} < m_{Rd} = 179,01 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,2^+} = 169,33 \text{ kNm} < m_{Rd} = 179,01 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**

Aby byla splněna konstrukční zásada o minimálním množství výztuže, musí být vyztužení zvětšeno na  $\varnothing 16/180$  ( $a_s = 1117 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ ).

- ohybový moment:  $m_{Ed,x,sl,1^+} = 219,54 \text{ kNm}$

$$m_{Ed,x,2^-} = |-252,83| \text{ kNm}$$

### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 16 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \varnothing - \frac{\varnothing}{2} = 800 - 35 - 20 - \frac{16}{2} = 737 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{252,83 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,737} = 877 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{877 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 0,229 \text{ m}$$

navrhují:  $\varnothing 16 \text{ mm}/180 \text{ mm}$

skutečná plocha výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,18} \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 1117 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

### Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 1117 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 485,66 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{485,66 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,030 \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_{\min} - 0,4x) = 485,66 (0,737 - 0,4 \cdot 0,030) = 352,03 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,sl,1^+} = 219,54 \text{ kNm} < m_{Rd} = 352,03 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,2^-} = |-252,83| \text{ kNm} < m_{Rd} = 352,03 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**

- ohybový moment:  $m_{Ed,y,1^-} = |-351,57| \text{ kNm}$

$$m_{Ed,x,2^+} = 394,46 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl,1^+} = 408,13 \text{ kNm}$$

### Návrh

předpoklad:  $\varnothing = 20 \text{ mm}$

účinná výška průřezu

$$d_{\min} = h - c_{nom} - \varnothing - \frac{\varnothing}{2} = 800 - 35 - 20 - \frac{20}{2} = 735 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{\min}} = \frac{408,13 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,735} = 1419 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{1419 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} = 0,221 \text{ m}$$

**navrhují: Ø20 mm/220 mm**skutečná plocha  
výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,22} \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} = 1428 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 1428 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 620,57 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{620,57 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,039 \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_x - 0,4x) = 620,57 (0,735 - 0,4 \cdot 0,039) = 446,70 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,1^-} = |-351,57| \text{ kNm} < m_{Rd} = 446,70 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,2^+} = 394,46 \text{ kNm} < m_{Rd} = 446,70 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl,1^+} = 408,13 \text{ kNm} < m_{Rd} = 446,70 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**

- **ohybový moment:  $m_{Ed,y,sl,1^+} = 517,13 \text{ kNm}$**

$$m_{Ed,x,1^+} = 536,01 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl,2^+} = 708,79 \text{ kNm}$$

Návrhpředpoklad:  $\varnothing = 20 \text{ mm}$ 

účinná výška průřezu

$$d_{min} = h - c_{nom} - \varnothing - \frac{\varnothing}{2} = 800 - 35 - 20 - \frac{20}{2} = 735 \text{ mm}$$

nutná plocha výztuže

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d_{min}} = \frac{708,79 \cdot 10^3}{435 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,735} = 2464 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

vzdálenost prutů

$$s_{req} = \frac{1}{a_{s,req}} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{2464 \cdot 10^{-6}} \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} = 0,127 \text{ m}$$

**navrhují: Ø20 mm/130 mm**

skutečná plocha výztuže

$$a_s = \frac{1}{s} \frac{\pi \varnothing^2}{4} = \frac{1}{0,13} \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} = 2417 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Posouzení

síla ve výztuži

$$F_s = a_s f_{yd} = 2417 \cdot 10^{-6} \cdot 435 \cdot 10^3 = 1050,70 \text{ kN}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1050,70 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,066 \text{ m}$$

moment únosnosti  
průřezu

$$m_{Rd} = F_s (d_x - 0,4x) = 1050,70(0,735 - 0,4 \cdot 0,066) = 744,67 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl,1^+} = 517,13 \text{ kNm} < m_{Rd} = 744,67 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,x,1^+} = 536,01 \text{ kNm} < m_{Rd} = 744,67 \text{ kNm}$$

$$m_{Ed,y,sl,2^+} = 708,79 \text{ kNm} < m_{Rd} = 744,67 \text{ kNm}$$

**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**  
**VYHOVÍ**

• **konstrukční zásady**

omezení množství výztuže

$$a_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b \cdot d_x \right\} = \max \left\{ 0,26 \frac{2,9}{500} 1 \cdot 0,737 \right\} = \max \left\{ 1115 \cdot 10^{-6} \right\} = 1115 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 0,04 A_c = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,8 = 32000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,min} = 1115 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 < a_s = 1117 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 32000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 > a_s = 2417 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

**VYHOVÍ****VYHOVÍ**

omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,066}{0,735} = 0,090 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

**VYHOVÍ**

omezení vzdálenosti mezi jednotlivými pruty

maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 800; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 250 \text{ mm} > s_{y,I} = 220 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**

minimální světlá vzdálenost

$$s_{min} = \max(k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 20; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 24 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 24 \text{ mm} < s_{x,3} = 120 - 20 = 100 \text{ mm}$$

**VYHOVÍ**



- **Kotevní délka**

pro  $\varnothing = 16$  mm:

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{16 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 580 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 580 = 580 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 580$  mm**

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 580,5; 10 \cdot 16; 100 \text{ mm}) = 174 \text{ mm}$$

**$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 174 \text{ mm}$**

**VYHOVÍ**

pro  $\varnothing = 20$  mm:

návrhová pevnost betonu  
v tahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,0}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

návrhová hodnota mezního  
napětí v soudržnosti

$$f_{ctd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3 \text{ MPa}$$

základní kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{20 \cdot 435}{4 \cdot 3} = 725 \text{ mm}$$

kotevní délka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 870 = 870 \text{ mm}$$

**volím:  $l_{bd} = 730$  mm**

minimální kotevní délka

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,rqd}; 10 \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 725; 10 \cdot 20; 100 \text{ mm}) = 218 \text{ mm}$$

**$l_{bd} = 730 \text{ mm} > l_{b,min} = 218 \text{ mm}$**

**VYHOVÍ**

- **shrnutí**

Pro přehlednost navrhnutých výztuží na ohyb jsou údaje upořádané v *Tab. 5.21*.

Tab. 5.21: Výztuž na ohyb

ozn.	hodnota	jednotka	výztuž	posudek
$m_{Ed,y,2}^-$	-135,06	kNm	Ø16/180	VYHOVÍ
$m_{Ed,y,1}^+$	152,62	kNm		
$m_{Ed,x,1}^-$	-165,84	kNm		
$m_{Ed,y,2}^+$	169,33	kNm		
$m_{Ed,x,sl,1}^+$	219,54	kNm	Ø16/180	VYHOVÍ
$m_{Ed,x,2}^-$	-252,83	kNm		
$m_{Ed,y,1}^-$	-351,57	kNm	Ø20/220	VYHOVÍ
$m_{Ed,x,2}^+$	394,46	kNm		
$m_{Ed,y,sl,1}^+$	408,13	kNm		
$m_{Ed,x,sl,2}^+$	517,71	kNm	Ø20/130	VYHOVÍ
$m_{Ed,x,1}^+$	536,01	kNm		
$m_{Ed,y,sl,2}^+$	708,79	kNm		

**Mezní stav únosnosti – smyk**

- posouvající síla  $v_{Ed} = 2381,43$  kN, vnitřní sloup

efektivní výška průřezu:

$$d_x = 755 \text{ mm}$$

$$d_y = 735 \text{ mm}$$

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{755 + 735}{2} = 745 \text{ mm}$$

Posouzení odolnosti základové desky proti rozdrčení tlakových diagonál (na obvodu sloupu)

nultý kontrolovaný obvod

$$u_0 = 4c = 4 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ m}$$

max. návrhové smykové  
napětí

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_0 d_{eff}} = \frac{1,15 \cdot 2381,43}{2,0 \cdot 0,745} 10^{-3} = 1,84 \text{ MPa}$$

redukční součinitel

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528 \text{ MPa}$$

maximální únosnost betonu  
při protlačení na obvodu  
sloupu

$$v_{Rd,max} = v f_{cd} = 0,528 \cdot 20 = 10,56 \text{ MPa}$$

$$v_{Ed,0} = 1,84 \text{ MPa} < v_{Rd,max} = 10,56 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení smykové odolnosti stropu bez smykové výztuže

první kontrolovaný obvod	$u_1 = 4c + 2\pi 2d_{eff} = 4 \cdot 0,5 + 2\pi \cdot 2 \cdot 0,745 = 11,36 \text{ m}$
návrhové smykové napětí	$v_{Ed,1} = \frac{\beta v_{Ed,1}}{u_1 d_{eff}} = \frac{1,15 \cdot 2381,43}{11,36 \cdot 0,745} 10^{-3} = 0,32 \text{ MPa}$
stupeň vyztužení	$\rho_x = \frac{a_{s,x}}{(c_x + 6d_{eff})d_x} = \frac{2417 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,745)0,755} = 6,4 \cdot 10^{-3}$ $\rho_y = \frac{a_{s,y}}{(c_y + 6d_{eff})d_y} = \frac{1428 \cdot 10^{-6}}{(0,5 + 6 \cdot 0,745)0,735} = 3,9 \cdot 10^{-3}$ $\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} = \sqrt{6,4 \cdot 10^{-3} \cdot 3,9 \cdot 10^{-3}} = 5,0 \cdot 10^{-3} < 0,02$ <b>OK</b>
ostatní parametry vstupující do výpočtu	$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{0,745}} = 1,52$
max. návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže	$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,52 (100 \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} \cdot 30)^{1/3} = 0,21 \text{ MPa}$
minimální únosnost betonu	$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,52^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,36 \text{ MPa}$
$v_{Rd,c} = 0,21 \text{ MPa} > v_{min} = 0,36 \text{ MPa}$ $v_{Ed,1} = 0,32 \text{ MPa} < v_{Rd,c} = 0,36 \text{ MPa}$	<b>NEVYHOVÍ <math>\Rightarrow v_{Rd,c} = 0,36 \text{ MPa}</math> VYHOVÍ</b>

## 6. Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo statické posouzení vybraných nosných prvků konstrukce základní umělecké školy dle architektonického návrhu. Diplomová práce umožnila osvojit si proces návrhu a následného posouzení nejběžnějších prvků ze železobetonu dle Eurokódu

Pro správný návrh bylo nezbytné studium veškerých dostupných podkladů, seznámení se s konstrukcí a místem budoucí stavby. Poté bylo možné přistoupit k určení zatížení na konstrukci během její životnosti. Při provádění statického výpočtu bylo nutné dbát na stanovení zatížení působící na konstrukci. K tomu mi byla nápomocná fotodokumentace budoucí stavební parcely pořízená při osobní prohlídce.

Při vytváření 3D výpočetního modelu konstrukce bylo využito dosavadních znalostí z předmětů zabývajících se jejich tvorbou ve výpočetním programu Scia Engineer. V rámci práce na výpočetním modelu bylo nutné překonat řadu překážek, se kterými se studenti během studia běžně nesetkají.

V konečné fázi práce, kdy bylo přistoupeno k návrhům a posudkům jednotlivých prvků konstrukce. Pro optimalizaci postupu od návrhu k posouzení dobře posloužil tabulkový editor MS Excel, v němž byly jednotlivé posudky programovány. V posudcích byl mimo mezního stavu únosnosti brán zřetel také na mezní stav použitelnosti. Ačkoliv není pro některé posuzované konstrukce nutné k MSP přihlížet, v rámci zpracování diplomové práce byl tento posudek proveden i z důvodů získání potřebných zkušeností.

Během vypracování diplomové práce bylo zapotřebí překonat řadu problémů a rozšířit si znalosti nad rámec vyučovacích předmětů. Velkou výzvou se stalo vytvoření 3D modelu, který by i přes svou idealizaci podával výsledky blížíící se skutečnosti. Za zmínku možná také stojí, že při zpracovávání této práce, bylo použito i mimořádného zatížení od vozidla integrovaného záchranného sboru a následné stanovení jejich mimořádné kombinace. Dále vzhledem k možným problémům při objemových změnách konstrukce byla v rámci diplomové práce rovněž řešena dilatační spára.



## Seznam literatury

### Normy

- [1] ČSN EN 1991: *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*
- [2] ČSN EN 1991: *Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*
- [3] ČSN EN 1991: *Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*
- [4] ČSN EN 1991: *Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení*
- [5] ČSN EN 1992: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*
- [6] ČSN EN 1997: *Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla*

### Knihy

- [7] Bažant, Z. *Betonové konstrukce I: Betonové konstrukce plošné – Část 1, modul CS3*. Brno: CERM, 2005
- [8] Bažant, Z. *Betonové konstrukce I: Betonové konstrukce plošné – Část 2*, Brno: CERM, 2004
- [9] Panáček J. *Prvky betonových konstrukcí: Dimenzování betonových prvků – Část 1, modul CM2*. Brno: CERM, 2007, ISBN: 978-80-7204-515-0
- [10] Štěpánek, P., Zmek, B. *Prvky betonových konstrukcí: Dimenzování betonových prvků – Část 2, modul CM3*. Brno: CERM, 2007, ISBN: 978-80-7204-516-7

## Seznam příloh

### Výkresy:

1. Půdorys 1.NP (M 1:200)
2. Půdorys 2.NP (M 1:200)
3. Půdorys 3.NP (M 1:200)
4. Řez A-A (M 1:200)
5. Schéma konstrukčního systému (M 1:250)
6. Výkres výztuže desky nad 2.NP – dolní povrch (M 1:100)
7. Výkres výztuže desky nad 2.NP – horní povrch (M 1:100)
8. Výkres tvaru desky nad 2.NP (M 1:100)
9. Výkres výztuže průvlaků P13 a P14 (M 1:50)
10. Výkres výztuže sloupu S1 a S7 (M 1:50)